

Reinhard Breuer
Chefredakteur

Sind aussterbende Sprachen ein Verlust?

Die meisten Sprachen der Erde sind bedroht – ganz ähnlich wie viele Tiere und Pflanzen. Soll, kann man sie erhalten? Was geht hier verloren? Mit den Sprachen sterben zwar keine Menschen, aber ganze Kulturen: eine jeweils einmalige Weise, menschliches Denken, Fühlen und Wollen zum Ausdruck zu bringen.

Nach Schätzung von Sprachforschern werden derzeit auf der Erde noch ungefähr 6000 lebende Sprachen gesprochen. Das klingt viel, aber die Gewichte sind recht ungleich verteilt: In Europa und Vorderasien teilen sich etwa 800 Millionen Sprecher 250 Sprachen. In Papua-Neuguinea leben 3,5 Millionen Menschen mit rund 850 Sprachen – im Schnitt also 4000 Sprecher pro Sprache.

Kein Zufall: Forscher schätzen, dass neunzig Prozent aller Sprachen von höchstens je 5000 Menschen verwendet werden. Fast alle diese Sprachen sind gefährdet oder dem Verschwinden nahe. „In hundert Jahren", meint der Düsseldorfer Linguist Dieter Wunderlich, „wird es vielleicht nur noch 600 lebende Sprachen geben, zehn Prozent der heute noch gesprochenen."

Diese Situation ist keineswegs neu – schon immer sind Sprachen von der Bildfläche verschwunden. Anders lief es mit der europäischen Ursprache. Sie „lebt" im Prinzip noch heute fort – im Baskenland! Vor über zehntausend Jahren, noch vor der Invasion des Indogermanischen, war aber offenbar die Urform des Baskischen noch über ganz Europa verbreitet. Ihre Wortreste finden sich zuhauf, auch außerhalb des Baskischen: Wer etwa mit einem Käsebrot in der Hand am Ufer der Isar bei München spazieren geht, hat es – *gazi* = salzig, *is* = Wasser, *munica* = Ort auf der Uferterrasse – mit Relikten des Urbaskischen zu tun (siehe Seite 32).

> » Mit den Sprachen sterben zwar keine Menschen, aber ganze Kulturen «

Wie sollen wir auf das drohende Verschwinden einer Sprache reagieren? Wahrscheinlich lässt sich dieser Prozess gar nicht aufhalten, allenfalls verzögern. Schriftlich überlieferte Kulturen werden länger „durchhalten", ihr Erbe wird von Linguisten mühsam geborgen. Sprachen dagegen, die nur mündlich tradiert werden, sind viel schwerer zu dokumentieren. Sie verlieren sich, sobald die Kinder sie nicht mehr lernen, was derzeit schon bei vierzig Prozent aller Sprachen der Fall ist.

Heute leben viele vom Sprachverlust betroffene Minderheiten zwei- oder mehrsprachig. In einigen Fällen dient ihr Idiom der Identitätswahrung, oft weil ihre Ethnie politisch bedroht wird. Andere Kleinsprachen sind längst zur Folklore erstarrt und durch Selbstmusealisierung einem raschen Untergang geweiht – ein Fall für Historiker. Durch das Sprachensterben verarmt die Welt in einem Akt globalen Vergessens. Wir sind bereits heute Zeugen einer Banalisierung zu Gunsten glatt gewalzter Großsprachen der Zukunft – Einfalt statt Vielfalt.

TITELBILD:

Diese Ausdrucksmaske aus der kleinen Kirche St. Blaise von Lacommande in Süd-West-Frankreich fertigten Bildhauer im Mittelalter neben ihrer Arbeit zum Vergnügen. Der Ort liegt an der Straße von Saint Jaques de Compostell. *Bildquelle: M. Daudu*



TITELTHEMA

Die Ursprache der Alteuropäer

Seite 32

In vielen europäischen Fluss- und Ortsnamen stecken mit dem Baskischen verwandte Wörter. Die Namen wurden bald nach der letzten Eiszeit vergeben. In ganz Europa sind die Menschen noch heute mit den Basken, einem vorindogermanischen Volk, eng verwandt. Linguisten und Genetiker präsentieren ihre Befunde.



RÖNTGENASTRONOMIE Seite 22

Alles Licht der Welt

Kennen die Astronomen alle leuchtenden Objekte im Universum? Eine diffuse Strahlung, Summe des Röntgenlichts aller Sterne und anderer Strahlungsquellen, hilft bei der Inventur.



BILDSCHIRMTECHNIK Seite 46

Wettlauf zum elektronischen Papier

Flink wie ein Bildschirm, flimmerfrei wie eine bedruckte Seite: Firmen entwickeln biegsame Folien, die wechselnde Texte und Grafiken wiedergeben. Elektronische Zeitungen und Bücher, die diese Vorzüge vereinen, stehen vor der Marktreife.

VULKANISMUS Seite 54

Wird der Ätna zum Pulverfass?

Europas aktivster Vulkan gilt als relativ gutartig, da seine gasarmen Magmen sich in zwar spektakulären, aber doch eher harmlosen Lavaströmen ergießen. Jüngste Untersuchungen lassen für die Zukunft allerdings gefährliche explosive Ausbrüche befürchten.



SCHIFFSARCHÄOLOGIE Seite 66

Wrack im Tank

Fast zwanzig Jahre verbrachte das Wrack einer mittelalterlichen Hanse-Kogge im Konservierungstank. Dank moderner Chemie scheint das Schiff jetzt bereit für die Zukunft.



FERNSEHSUCHT Seite 70

Wenn Fernsehen zur Droge wird

Wer seine Freizeit größtenteils vor dem Bildschirm verbringt, zeigt Merkmale eines Suchtverhaltens. Von dieser Abhängigkeit kann man sich befreien – sofern man ihre Mechanismen durchschaut und bereit ist, mit Gewohnheiten zu brechen.



TECHNOSKOP Seite 76

Unfallfreies Fahren

Sicherheitssysteme wie Airbag und Sitzgurte, ABS und ESP haben die Zahl der Toten auf unseren Straßen verringert. Maschinenintelligenz im Verein mit Sensoren sollen nun den Crash überhaupt vermeiden helfen. Denn nach wie vor gilt: Das Hauptrisiko sind die Fahrer.



FORSCHUNG UND GESELLSCHAFT

REZENSIONEN

MATHEMATISCHE UNTERHALTUNGEN

WEITERE RUBRIKEN

Flugzeugentführungen: Wer übernimmt die Steuerung

Forschung und Gesellschaft – Januar 2002

Aus beruflichen Erfahrungen als Pilot möchte ich Folgendes anmerken: Computersysteme und andere technische Anwendungen arbeiten nicht fehlerfrei. Mir ist in meiner fliegerischen Laufbahn noch nie (!) ein Anflug begegnet, der von den Bordcomputern völlig selbstständig durchgeführt worden wäre. In den Cockpits aller Flugzeuge befinden sich unzählige Hilfsmittel zur manuellen Steuerung derselben. Der Aus- bzw. Umbau wäre aus sicherheitstechnischen Gründen und auch im Aufwand niemals zu rechtfertigen.

Der Kinoreißer „Stirb langsam 2“ ist kein Tatsachenbericht, sondern eine märchenähnliche Erfindung. Die geschilderte Manipulation eines Gleitwegsenders ist in dieser Form technisch unmöglich und würde darüber hinaus von einer ausgebildeten Crew schon zu Beginn eines Anflugs erkannt. Mein Resümee: Sicherheit vor Anschlägen findet am Boden statt. Es wäre sinnvoller, wenn Ingenieure ihre Fantasie in das (zugegebenerweise weniger spektakuläre) Ersinnen von verbesserten Personenkontrollen auf den Flughäfen investieren würden.

Alexander Nykolyn, Berlin

Gibt es ein unsichtbares Artensterben? – Januar 2002

Als Käferkundler habe ich vor kurzem eine Ausstellung zum Thema Artensterben konzipiert, befasse mich also



FRANS LANTING, MINDEN PICTURES

Die Nachwelt hat auch Anspruch auf eine Vielfalt weniger spektakulärer Arten.

stark mit der möglicherweise artenreichsten Organismen-Gruppe. Nahrungsspezialisierung, Lebensraumspezialisierung und/oder enge Arealgrenzen bedingen in ihren möglichen Kombinationen die Seltenheit von Arten. An diesen Punkten sind solchermaßen spezialisierte Spezies angreifbar, was besonders für die stark spezialisierten Insekten, aber auch für andere Arten gilt. Sie verschwinden eben, wenn ihr Lebensraum zerstört ist, ihre Nahrungspflanzen aussterben oder ihr Areal durch klimatische Veränderungen für sie unbewohnbar wird. Ein Mitwandern mit den klimatischen Verschiebungen ist oft nicht möglich, zum einen aus geografischen Gründen, zum anderen, weil die Nischen der Arten anderswo zumeist schon besetzt sind. Ein solches Aussterben muss auf Grund der nachweisbaren Veränderungen im Lebensumfeld der Arten im Augenblick zwangsläufig passieren (zumindest bei den artenreichen Käfern). Doch selbst wenn hieran Zweifel auftreten sollten: Wir haben im Kant'schen Sinne die Pflicht (das Gebot), nicht auf Kosten der nachfolgenden Generationen von Menschen zu leben. Denn diese haben nicht die Chance, ihre Ansprüche selbst geltend zu machen. Wir wissen noch nicht, wozu die eine oder andere Art den Menschen der Zukunft einmal nütze sein wird und dürfen sie daher nicht auf der Basis von Spekulationen achtlos ausrotten oder aussterben lassen.

Dr. Armin Rose, Oldenburg

Früher Geißel, heute Biowaffe – Februar 2002

Das Schicksal eines anderen Mikroorganismus kam dem des *B. anthracis* bereits Jahrhunderte zuvor. *Yersinia pestis* (SdW 2/02, S.16), ist das beste Beispiel für die praktische Anwendung eines Krankheitserregers in der Kriegsführung und ebenfalls der damit möglichen globalen Konsequenzen.

Erster biologischer „ground zero“ wurde 1346 die Hafenstadt Caffa auf der Halbinsel Krim im Krieg der Tartaren (Mongolen) gegen die Christen. Gabriele de Mussis beschreibt wie folgt: Die Tartaren „umzingelten die Stadt Caffa und belagerten fast drei Jahre die eingeschlossenen Christen. ... Zu diesem Zeitpunkt befiel die Seuche die Tartaren. Deren Heer gerat in Panik und täglich starben tausende. ... Sie ... erkannten, dass sie ... sterben mussten und banden die Leichen auf Wurfmaschinen und ließen sie in die Stadt Caffa hinein katapultieren, damit alle an dem unerträglichen Gestank zu Grunde gehen sollten.“

Ohne Laboratorien, Bomben und Scuds nahmen die Tartaren die Stadt Caffa ein, jedoch wurden keine Maßnahmen zur Eindämmung des Endemie-Ortes getroffen. Jeder Flüchtling der Stadt nahm „die krankhaften Ausdünstungen“ mit sich, was durch die mittelalterlichen „Hubs“ Genua und Venedig zu einer Verbreitung der Pest in alle „anderen Regionen der Christenheit“ führte. In Folge der „Caffa-Anschläge“ kam es zu einer globalen Pest-Epidemie, durch die „fast der gesamte Osten“ und auch ein Drittel der Bevölkerung Europas (von Italien (1347) bis England und Norwegen (1350)) ausgelöscht wurde.

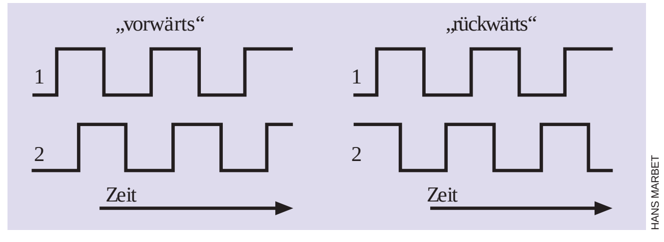
Eine Übertragung des Caffa-Szenarios in unsere Zeit entspräche einem biologischen Supergau: Auf Grund des Bevölkerungswachstums, der Populationsdichte und dem internationalen Flugverkehr könnten Milliarden infiziert werden. Aber da ein Angriff mit infektiösen Erregern mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Angreifer zurückschlagen würde, erzeugt ein Krankheitserreger ohne Vakzine praktisch von sich aus eine „Balance of Power“. Selbstmordkommandos und Verzweiflungstäter würde das allerdings nicht abschrecken.

Gregor Lichtfuss, Berlin

Die Computermaus

Wissenschaft im Alltag – März 2002

Ob sich eine Computermaus bewegt, kann die von Mark Fischetti geschilderte Anordnung wohl erkennen, um jedoch „vorwärts“ und „rückwärts“ zu unterscheiden, ist folgender Aufbau notwendig: Durch jede mitdrehende Lochscheibe fallen zwei Lichtstrahlen beziehungsweise werden durch sie unterbrochen. Zwei pro Lochscheibe versetzt angeordnete Fotozellen erfassen die beiden Lichtstrahlen und wandeln deren Impulse in vom Rechner verwertbare elektrische Signale um. Bei Vorwärts- bzw. Rückwärtsbewegung sehen die Lichtimpulse (1 und 2) wie folgt aus:



HANS MARBET

Hans Marbet, Mattstetten (Schweiz)

Altersdiabetes – eine weltumspannende Epidemie
März 2002

In diesem Beitrag (auf Seite 65) erwähnt die Autorin Insulinsensitizer, die angeblich ihrer Zulassung harren. (Anmerkung der Red.: Wir hatten uns vor Drucklegung erkundigt, aber leider eine falsche Information bekommen.)

Die ersten Insulinsensitizer (Stoffgruppe der Glitazone) sind im Jahr 2000 zugelassen: das Rosiglitazon (Handelsname Avandia) und das Pioglitazon (Handelsname Actos). Die Anwendung der Glitazone beschränkt sich jedoch auf die Kombination mit anderen oralen Antidiabetika. Erst wenn die Wirkung von Metformin oder Sulfonylharnstoffen nicht mehr den gewünschten Blutzucker senkenden Effekt hat, kommen diese Medikamente zum Einsatz.

Klaus Debring, Cloppenburg

Teilen und Helfen – Ursprünge sozialen Verhaltens
März 2002

Homo oeconomicus – eine sehr nützliche Fikition

Der „real existierende Mensch" mag sich nicht (immer) im Sinne des *homo oeconomicus* verhalten. Letzterer ist eine sehr nützliche Fiktion, die in Modellen im Ergebnis das facettenreiche menschliche Handeln gut widerspiegelt. Zugleich ist er auch Ausdruck dafür, dass der Wissenschaftler dem Individuum nicht ein bestimmtes Modell-Verhalten vorschreibt, sondern das Individuum sich an eine Änderung seiner Modellwelt anpasst. Dies erfolgt auf rationale Weise. Der Eigennutz ist in ökonomischen Modellen eben zugleich auch Ausdruck einer nicht-irrationalen Anpassung an eine sich ändernde Situation.

Dass die Annahme des *homo oeconomicus* bei wirtschaftspolitischen Empfehlungen unerwünschtes egoistisches Verhalten erst produziert, ist tatsächlich ein großes Übel. Modellergebnisse sollen als das gesehen werden, was sie sind: Modellergebnisse und eben nicht die Realität selbst, die der Anpassung an Letztere bedürfen.

Thomas Schleiermacher, Köln

Briefe an die Redaktion ...

... richten Sie bitte mit Ihrer vollständigen Adresse an:

Spektrum der Wissenschaft
Ursula Wessels
Postfach 10 48 40
69038 Heidelberg

E-Mail: wessels@spektrum.com
Fax: (0 62 21) 91 26-729

Weitergabe von sozialem Wissen



BRIAN CRONIN

Ich persönlich würde in dem Ultimatum-Spiel grundsätzlich fünfzig Prozent der Summe anbieten und jedes Angebot zurückweisen, das darunter liegt. In dem Artikel wird dieses Handeln als emotional bezeichnet. Ich kann meine Entscheidung jedoch sehr genau rational begründen. Die Begriffswahl des Wortes „emotional" erscheint in dem Artikel nicht im Geringsten reflektiert. Unterstellt wird nämlich der Begriff des *homo oeconomicus* als des einzig rational Handelnden. Dies reduziert Menschen auf ein einziges rationales Interesse, nämlich möglichst viel Geld in der Tasche zu haben. Daneben hat er jedoch noch viele andere, z. B. in Eintracht mit anderen Menschen zu leben. Ohne dieses Interesse wäre die Menschheit längst ausgestorben.

Interessant ist nun gerade, dass die beschriebenen Experimente diese Fähigkeit von Menschen dokumentieren und deren Hang, diese Regelsysteme aufrechtzuerhalten. Dies als emotionales Handeln zu beschreiben und kurzfristiges ökonomisch orientiertes egoistisches Verhalten als rational, ist in meinen Augen eine wesentliche Schwäche der vorliegenden Erklärungsansätze. Anstatt alles auf das biologische Programm von Individuen zu reduzieren, „zu überleben und uns fortzupflanzen", sollte man einen Blick darauf haben, dass auch komplette soziale Zusammenhänge nur langfristig Bestand haben, wenn sie im Innern Frieden, Sicherheit und Gemeinwohl garantieren. Das soziale Wissen darüber, wie dies zu erhalten ist, wird nicht biologisch reproduziert, sondern – ist die Sozialisation von einer Generation zur nächsten weitergegeben – gelehrt.

Die Ergebnisse der Experimente lassen hoffen, dass dieses Wissen noch recht weit verbreitet ist, auch wenn die Ideologie des *homo oeconomicus* in unserer Gesellschaft sozial positives Handeln seit Jahrzehnten als emotional (also leicht versponnen) abqualifiziert und Verhaltensweisen der sozialen Kälte in der Tat auf dem Vormarsch sind. Wiederum zeigt der Artikel, dass dadurch das Gemeinwesen umzukippen droht.

Peter Stender, Hamburg

Spektrum DER WISSENSCHAFT

Chefredakteur: Dr. habil. Reinhard Breuer (v.i.S.d.P.)
Stellvertretende Chefredakteure: Dr. Inge Hoefer (Sonderhefte), Dr. Gerhard Trageser
Redaktion: Dr. Klaus-Dieter Linsmeier, Dr. Christoph Pöppe (Online Coordinator), Dr. Uwe Reichert, Dr. Adelheid Stahnke; E-Mail: redaktion@spektrum.com
Ständiger Mitarbeiter: Dr. Michael Springer
Schlussredaktion: Katharina Werle, Christina Peiberg
Bildredaktion: Alice Krüßmann
Art Direction: Karsten Kramarczik
Layout: Sibylle Franz, Andreas Merkert, Natalie Schäfer (stv. Herstellerin)
Redaktionsassistenz: Eva Kahlmann, Ursula Wessels
Redaktionsanschrift: Postfach 104840, 69038 Heidelberg Tel. (0 62 21) 91 26-711, Fax (0 62 21) 91 26-729
Büro Bonn: G. Hartmut Altenmüller, Tel. (0 22 44) 43 03, Fax (0 22 44) 63 83, E-Mail: ghalt@aol.com
Korrespondenten: Dieter Beste, Marion Kälke, Tel. (02 11) 908 3357, Fax (02 11) 908 33 58, E-Mail: Dieter.Beste@t-online.de
Produktentwicklung: Dr. Carsten Könneker, Tel. (0 62 21) 91 26-770
Herstellung: Klaus Mohr, Tel. (0 62 21) 91 26-730
Marketing und Vertrieb: Annette Baumbusch, Anke Walter, Tel. (0 62 21) 91 26-741/744; E-Mail: marketing@spektrum.com
Übersetzer: An diesem Heft wirkten mit: Dr. Ulf Borgeest, Andrea Jungbauer, Matthias Weiß.
Verlag: Spektrum der Wissenschaft, Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 104840, 69038 Heidelberg; Hausanschrift: Slevogtstraße 3-5, 69126 Heidelberg, Tel. (0 62 21) 91 26-600, Fax (0 62 21) 91 26-751
Geschäftsleitung: Dean Sanderson, Markus Bossle
Leser-Service: Marianne Blume, Tel. (0 62 21) 91 26-743, E-Mail: marketing@spektrum.com
Vertrieb und Abonnementverwaltung: Spektrum der Wissenschaft Boschstraße 12, 69469 Weinheim, Tel. (0 62 01) 60 61 50, Fax (0 62 01) 60 61 94
Bezugspreise: Einzelheft € 6,90/sfr 13,50; im Abonnement € 75,60 für 12 Hefte; für Studenten (gegen Studiennachweis) € 65,40. Die Preise beinhalten € 6,00 Versandkosten. Bei Versand ins Ausland fallen € 6,00 Porto-Mehrkosten an. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konten: Deutsche Bank, Weinheim, 58 36 43 202 (BLZ 670 700 10); Postbank Karlsruhe 13 34 72 759 (BLZ 660 100 75)
Anzeigen: GWP media-marketing, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH; Bereichsleitung: Harald Müsse; Anzeigenleitung: Holger Grossmann, Tel. (02 11) 887-23 79, Fax (02 11) 887-23 99 verantwortlich für Anzeigen: Stefan Söht, Postfach 10 26 63, 40017 Düsseldorf, Tel. (02 11) 887-23 86, Fax (02 11) 887-28 46
Anzeigenvertretung: Berlin-West: Rainer W. Stengel, Lebuser Str. 13, 10243 Berlin, Tel. (0 30) 7 74 45 16, Fax (0 30) 7 74 66 75; Berlin-Ost: Dirk Schaeffer, Friedrichstraße 150–152, 10117 Berlin, Tel. (030) 6 16 86-150, Fax (0 30) 6 15 90 05, Telex 114810; Hamburg: Michael Scheible, Stefan Irmler, Burchardstraße 17, 20095 Hamburg, Tel. (0 40) 30 18 31 94, Fax (0 40) 33 90 90; Düsseldorf: Cornelia Koch, Klaus-P. Barth, Werner Beyer, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Postfach 10 26 63, 40017 Düsseldorf, Tel. (02 11) 3 01 35-20 50, Fax (02 11) 1 33 97 4; Frankfurt: Anette Kullmann, Annelore Hehemann, Holger Schlitter, Große Eschenheimer Straße 16-18, 60313 Frankfurt am Main, Tel. (0 69) 92 01 92 82, Fax (0 69) 92 01 92 88; Stuttgart: Norbert Niederhof, Königstraße 20, 70173 Stuttgart, Tel. (0711) 22 475 40, Fax (07 11) 22 475 49; München: Reinold Kassel, Karl-Heinz Pfund, Josephspitalstraße 15, 80331 München, Tel. (0 89) 54 59 07-12, Fax (0 89) 54 59 07-16
Druckunterlagen an: GWP-Anzeigen, Vermerk: Spektrum der Wissenschaft, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Tel. (02 11) 8 87-23 87, Fax (02 11) 37 49 55
Anzeigenpreise: Gültig ist die Preisliste Nr. 23 ab 01.01.2002.
Gesamtherstellung: VOD – Vereinigte Offsetdruckereien GmbH, D-69214 Eppelheim

ISSN 0170-2971

Ein Teil unserer Auflage enthält Beilagen von Gruner & Jahr, Hamburg; Humanitas Buchversand, Wiebelsheim; DMEuro, Düsseldorf und Wissenschaft Online, Heidelberg. Wir bitten unsere Leser um Beachtung.

SCIENTIFIC AMERICAN
415 Madison Avenue, New York, NY 10017-1111
Editor in Chief: John Rennie, Publisher: Bruce Brandfon, Associate Publishers: William Sherman (Production), Lorraine Leib Terlecki (Circulation), Chairman: Rolf Grisebach, President and Chief Executive Officer: Gretchen G. Teichgraeber, Vice President: Frances Newburg

TIEFTEMPERATURPHYSIK

Wie ein Quantensee erstarrt

Münchner Physiker brachten die Atome eines superflüssigen Bose-Einstein-Kondensats dazu, in einem dreidimensionalen Gitter aus Laserlicht einzurasten – und erzeugten so einen neuartigen Aggregatzustand.

Von Georg Wolschin

Gewisse elektrisch leitende Festkörper können plötzlich zu Isolatoren werden, wenn man den Abstand zwischen ihren Atomen allmählich vergrößert. Dieses ungewöhnliche Phänomen hat große Bedeutung für die Halbleiter- und Elektronikindustrie. Sir Nevill Francis Mott (1905–1996, Physik-Nobelpreis 1977) lieferte in den 1970er Jahren die erste schlüssige Erklärung dafür; deshalb werden solche Metall-Nichtmetall-Übergänge heute nach ihm benannt. Sie beruhen letztlich darauf, dass die Leitungselektronen ihre freie Beweglichkeit verlieren und bei den einzelnen Atomen hängen bleiben.

Nun ist es einem Münchner Physikerquartett um Theodor Hänsch zusammen mit Tilman Esslinger von der ETH Zürich gelungen, in einem extrem tiefgekühlten Gas einen analogen „Phasenübergang“ zu erzeugen (Physiker bezeichnen den metallischen und den nichtleitenden Zustand jeweils als Phase). Er betraf hier jedoch nicht nur die Elektronen, sondern die Atome als Ganzes: Unter dem Einfluss von Laserstrahlung steigender Intensität wechselten sie abrupt von einem Zustand, in dem sie sich völlig frei bewegen konnten, in eine zuvor unbekannte Phase, in der sie gleichsam auf den Gitterplätzen eines Lichtkristalls in streng periodischer Anordnung eingesperrt waren.

Hänsch und Kollegen erzeugten für ihr Experiment zunächst ein so genanntes Bose-Einstein-Kondensat. In diesem exotischen Zustand, der sich 1995 erstmals bei Gasen realisieren ließ und nur bei extrem tiefen Temperaturen auftritt, verlieren die Atome ihre Identität. Sie werden ununterscheidbar und verschmelzen zu einem einzigen Quantenobjekt mit makroskopischen Dimensionen. Dabei schwingen die den Atomen entsprechenden Materiewellen im Gleichtakt und sind derart zueinander angeordnet, dass ihre Bäuche und Täler jeweils genau an denselben Stellen liegen; Physiker sprechen von Phasenkohärenz (hier verwenden sie den Ausdruck Phase für einen bestimmten Punkt im Schwingungszyklus einer Welle). Als Folge davon bewegen sich die Atome, ohne sich gegenseitig zu stören, absolut frei im Kondensat – und zwar alle mit derselben Geschwindigkeit. Mit anderen Worten gibt es keine innere Reibung oder Viskosität mehr: Das Kondensat verhält sich als Superfluid, das, einmal in Bewegung versetzt, ohne Energieverlust endlos weiterströmt. Verlangsamt man ein Atom, werden alle anderen automatisch ebenfalls abgebremst.

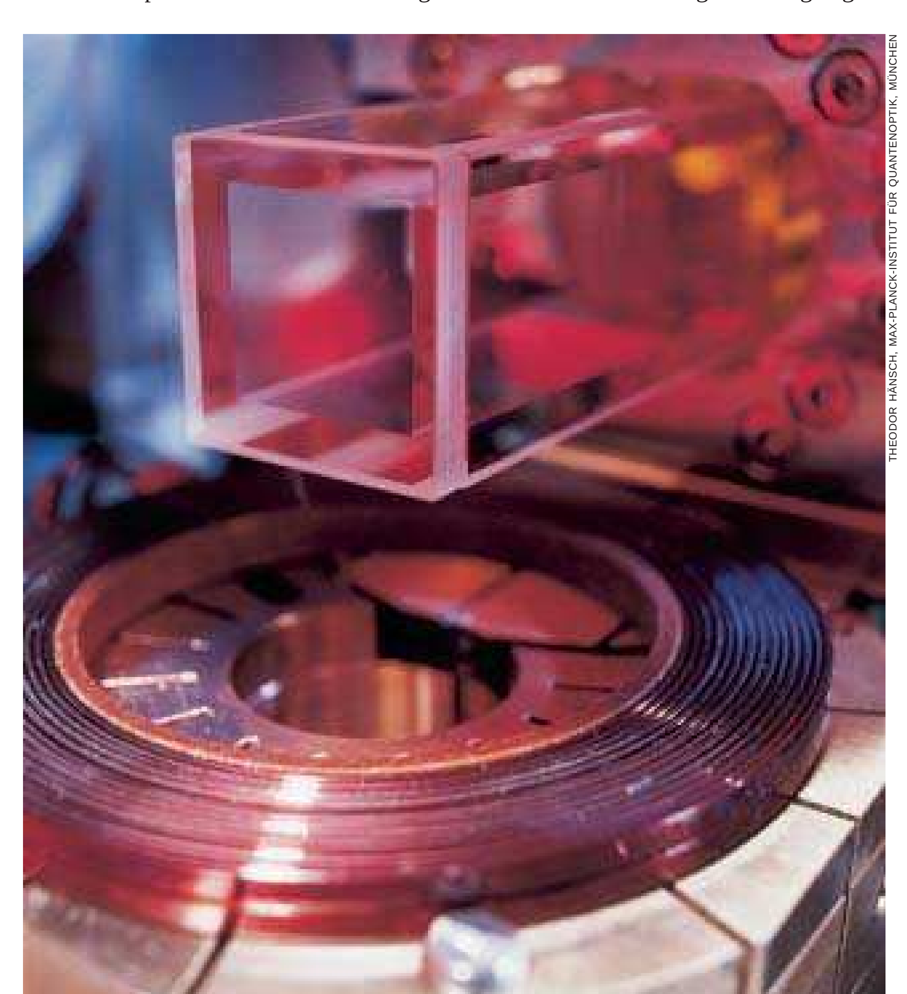
Dieses eigenartige Gebilde tauchten die Forscher aus München und Zürich nun in ein optisches Gitter. Dazu erzeugten sie mittels Laserstrahlen in drei zueinander senkrechten Richtungen stehende Lichtwellen. Deren Knoten bildeten unter diesen Umständen eine perfekt kubische Struktur, wie sie beispielsweise in Kochsalz-Kristallen vorliegt.

Der so entstandene „Lichtkristall“ schuf eine Art Potenzialgebirge mit den Knoten als Tälern. Das veranlasste die Atome des Bose-Einstein-Kondensats dazu, sich bevorzugt an diesen Knoten aufzuhalten und das Gebiet dazwischen zu meiden. Ihre freie Beweglichkeit und die Phasenkohärenz, also das koordinierte Verhalten, blieben davon jedoch unberührt: Noch immer bildeten sie ein Superfluid ohne innere Reibung.

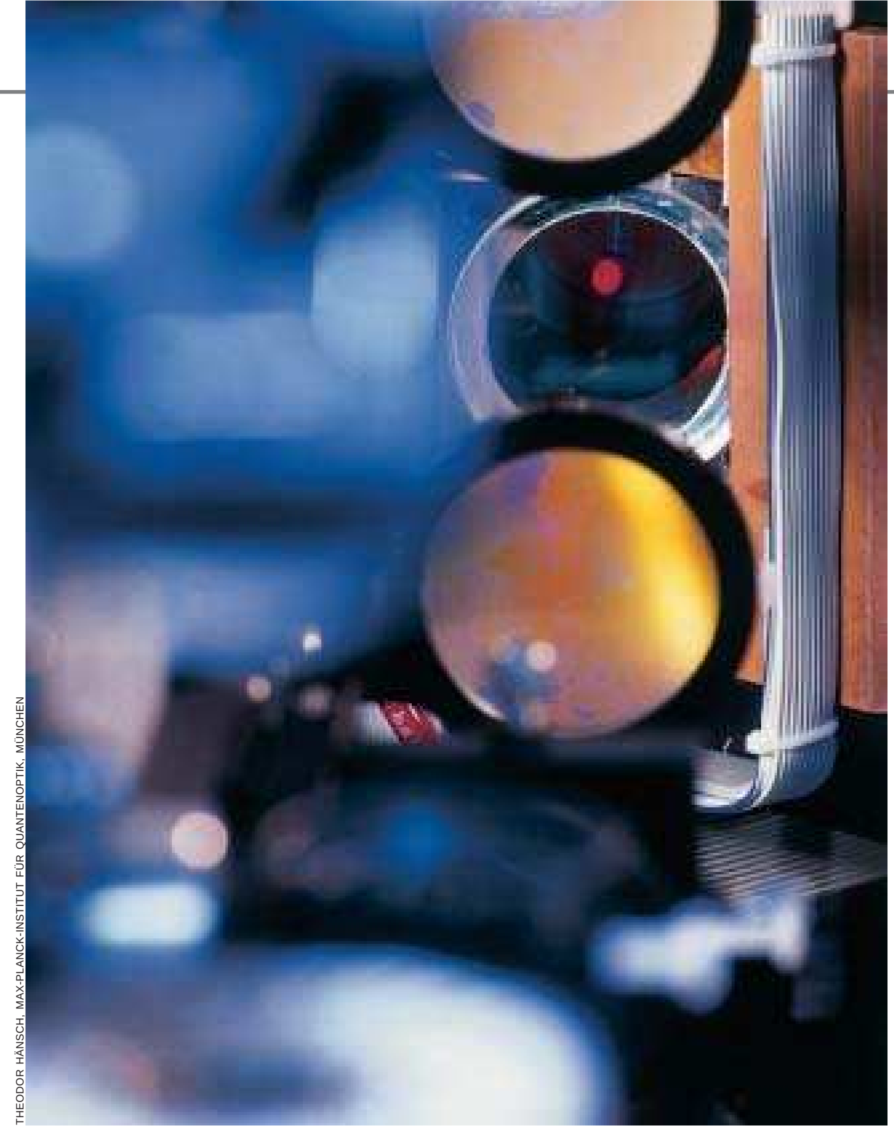
Das änderte sich erst, wenn die Lichtintensität weiter gesteigert wurde. Ab einem bestimmten Punkt behinderte das Gitter die Atome in ihrer Bewegung so stark, dass sie ihre Freizügigkeit und Kohärenz einbüßten. Damit erhielten sie zugleich schlagartig ihre Identität und Eigenständigkeit zurück.

Atome im Lichtgitter

An diesem Punkt ist das Potenzialgebirge so hoch geworden, dass es für die Atome energetisch günstiger wird, den kohärenten Zustand aufzugeben und einen festen Platz am Grund eines Tals einzunehmen. Fluktuierten sie vorher frei zwischen den Gitterplätzen, so besetzten sie jetzt jeden solchen Platz in einer genau festgelegten


THEODOR HÄNSCH, MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR QUANTENOPTIK, MÜNCHEN

In dieser gläsernen Vakuumkammer können mittels einer magnetischen Falle Bose-Einstein-Kondensate erzeugt werden. Eine der Stromspulen, die das Magnetfeld hervorrufen, ist hier gezeigt.


THEODOR HÄNSCH, MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR QUANTENOPTIK, MÜNCHEN

Die magnetooptische Falle in Aktion: Eine winzige Wolke aus laser-gekühlten Rubidium-Atomen bildet ein Bose-Einstein-Kondensat (roter Fleck, Farbe künstlich verstärkt).

Anzahl. Oder um ein anderes Bild zu gebrauchen: Im superfluiden Zustand schwappten die Atome als ununterscheidbare Masse zwischen den Knoten hin und her, während sie nun sauber aufgereiht wie Eier in einem Karton sitzen. Der so entstandene Mott-Isolator ist gegenüber äußeren Störungen sehr stabil.

Schwächt man das Lichtfeld anschließend wieder ab, durchläuft das System den Phasenübergang in entgegengesetzter Richtung: Die im Mott-Gitter eingesperrten Atome vereinigen sich erneut zum Superfluid. Das Quantengas kann also seinen Aggregatzustand in reversibler Weise ändern.

Normalerweise werden solche Phasenübergänge durch thermische Fluktuationen – Änderung der Bewegungsenergie von Teilchen – ausgelöst. Beispielsweise geht ein Supraleiter bei einer bestimmten „Sprungtemperatur“ in den normalleitenden Zustand über. Oder ein Magnet, den man erhitzt, verliert am Curie-Punkt seine Anziehungskraft. Beim Übergang vom Quantengas zum Mott-Kristall spielt die Temperatur jedoch keine wesentliche Rolle, der Vorgang könnte am absoluten Nullpunkt stattfinden. Tatsächlich wurde das Experiment bei wenigen Milliardstel Kelvin gemacht, also fast am absoluten Nullpunkt von –273,15 Grad Celsius; thermische Fluktuationen waren deshalb extrem klein.

In diesem Fall verursachen Quantenfluktuationen den Phasenübergang: Ist das Lichtgitter stark genug, einzelne Atome oder kleine Gruppen einzufangen und sie gewissermaßen an bestimmten Orten „festzunageln“, so verlieren diese ihre Kohärenz und Zugehörigkeit zum Bose-Einstein-Kondensat. Gleichzeitig wird die Atomzahl pro Gitterplatz festgelegt, während sie im Kondensat unbestimmt ist. Nach der heisenbergschen Unschärferelation kann nämlich nicht gleichzeitig die Phase der Wellenfunktion an einem Gitterplatz und die Anzahl der dort vorhandenen Atome bekannt sein. Festlegen der Atomzahl – mit Hilfe des optischen Gitters – zerstört die Phasenkohärenz.

Für ein Quantengas in einem optischen Gitter sagten Dieter Jaksch und Mitarbeiter an der Universität Innsbruck vor vier Jahren bereits einen derartigen Phasenübergang voraus. Ein analoges Resultat hatten Matthew P. A. Fisher von der Universität von Kalifornien in Santa Barbara und seine Mitarbeiter 1989 für supraflüssiges Helium abgeleitet. Die experimentelle Arbeit der Physiker um Hänsch und Esslinger bestätigt diese Voraussagen nun glänzend.

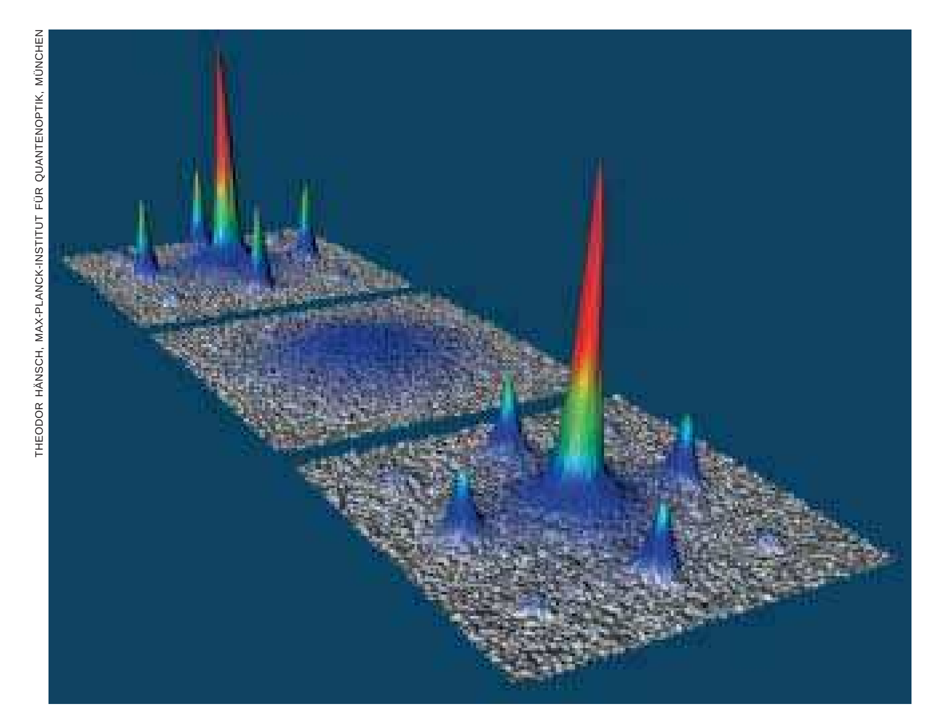
Aber wie konnten die Münchner Forscher den Mott-Übergang in dem Quantengas aus Rubidium-Atomen nachweisen? Dazu schalteten sie jeweils das optische Gitter aus. Die Materiewellen der in den Knotenpunkten konzentrierten Atome begannen sich daraufhin wieder über den gesamten Raum auszudehnen und interferierten dadurch miteinander. Existierte zu diesem Zeitpunkt noch das Bose-Einstein-Kondensat, schwangen die Wellen im Gleichtakt und überlagerten sich folglich zu einem regelmäßigen Interferenzmuster mit scharfen Maxima (Bild auf Seite 14). Dieses Muster ließ sich durch Beleuchten mit einem Laserstrahl sichtbar machen. Dabei erzeugten die Stellen maximaler konstruktiver Interferenz Abschattungen im Laserlicht, da sie besonders dichten Ansammlungen von Atomen entsprachen.

Sobald der Mott-Übergang stattgefunden hatte, war dagegen die Kohärenz zwischen den Atomen aufgehoben. Deren Materiewellen schwangen daher nach dem Abschalten des optischen Gitters gleichsam kreuz und quer durcheinander. Unter diesen Umständen entsteht kein regelmäßiges Interferenzmuster.

Die Münchner Forscher konnten nun zeigen, dass sich das Interferenzmuster beim Verstärken des Lichtfeldes nicht etwa allmählich verbreitert und abschwächt, sondern bei einem bestimmten Intensitätswert plötzlich verschwindet. Dies beweist, dass es sich um einen echten Phasenübergang handelt – wie etwa beim Gefrieren: Wasser wird beim Abkühlen auch nicht allmählich zähflüssiger, sondern erstarrt schlagartig bei genau null Grad Celsius.

Fernziel „Atom-Computer“

Wozu sind solche Untersuchungen gut? Im Mott-Kristall lässt sich das Verhalten der Atome nicht mehr mit den etablierten Theorien für Bose-Einstein-Kondensate beschreiben. Stattdessen müssen die sehr viel schlechter bekannten Wechselwirkungen zwischen den Atomen berücksichtigt werden. Damit bieten Mott-Kristalle die Chance, fundamentale Probleme bei stark korrelierten Systemen zu unter-


THEODOR HÄNSCH, MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR QUANTENOPTIK, MÜNCHEN

Ein Quantengas aus Rubidium-Atomen macht einen Phasenübergang von einem Bose-Einstein-Kondensat zu einem Mott-Kristall und zurück (von links nach rechts). Das superflüssige Kondensat mit seinen frei beweglichen Teilchen verrät sich durch ein charakteristisches Interferenzmuster mit hohem Kontrast (außen), das beim Mott-Kristall, in dem die Atome feste Gitterpositionen einnehmen, verschwunden ist (Mitte).

suchen – was vielleicht auch unser Verständnis anderer derartiger Systeme, etwa der Hochtemperatur-Supraleiter, verbessern hilft.

Was praktische Anwendungen angeht, eröffnet der reversible Phasenübergang zum Mott-Isolator die Möglichkeit, Atome mit Hilfe von Laserlicht in vergleichbarer Weise zu manipulieren wie heute Elektronen mit Transistoren. Ob das den Weg zum „Atom-Computer“ ebnen wird, lässt sich derzeit noch nicht absehen. Auch der Schritt vom Transistor zum Chip brauchte mehrere Jahrzehnte.

Im Prinzip könnte der Mott-Kristall jedenfalls das Gedächtnis eines Rechners von bisher unvorstellbar kleinen Dimensionen werden: Jedes der eingefangenen Rubidium-Atome hat auf Grund seines magnetischen Moments zwei innere Zustände, mit denen sich die Ziffern 0 und 1 darstellen lassen. Mit genügend großen Atomzahlen ließe sich auf diese Weise vielleicht ein leistungsfähiger Speicher bauen. Außerdem besteht die Hoffnung, mit Hilfe des Mott-Kristalls Materiewellen-Interferometer zu konstruieren, die winzigste Längenänderungen im atomaren Maßstab messen könnten. ■

Georg Wolschin *ist theoretischer Physiker und Wissenschaftsjournalist; er lehrt an der Universität Heidelberg.*

WAHRNEHMUNG

Der Realitätsfilter im Gehirn

Zweckgerichtetes Handeln setzt voraus, dass unser Gehirn diejenigen Gedanken herausfiltern kann, die sich auf die aktuelle Realität beziehen. Offenbar geschieht das, noch bevor gedankliche Assoziationen überhaupt bewusst erkannt werden.

Von Armin Schnider

Neuesten Erkenntnissen über die Funktionsweise des menschlichen Gedächtnisses zufolge werden beim Abrufen von Erinnerungen die gleichen Netzwerke von Nervenzellen aktiv, die zuvor schon beim Erkennen und Verarbeiten der betreffenden Informationen tätig waren. Dies wirft ein interessantes Problem auf. Wie ist es unter diesen Umständen möglich, dass wir uns nach Belieben Vergangenes ins Gedächtnis zurückrufen oder frei über Zukünftiges fantasieren können, uns dabei aber jederzeit der aktuellen Realität bewusst bleiben? Wie unterscheidet das Gehirn zwischen gedanklichen Assoziationen, die sich auf die Wirklichkeit beziehen, und solchen, die keinen Bezug dazu haben?

Tatsächlich gibt es hirngeschädigte Patienten, denen diese Unterscheidung nicht gelingt. Sie handeln auf Grund von Gedächtnis-Inhalten, die nichts mit ihrer momentanen Situation zu tun haben. Passend dazu erzählen sie Geschichten, die zwar anscheinend frei erfunden sind, von ihnen selbst aber für absolut wahr gehalten werden. Fachleute sprechen von spontanen Konfabulationen.

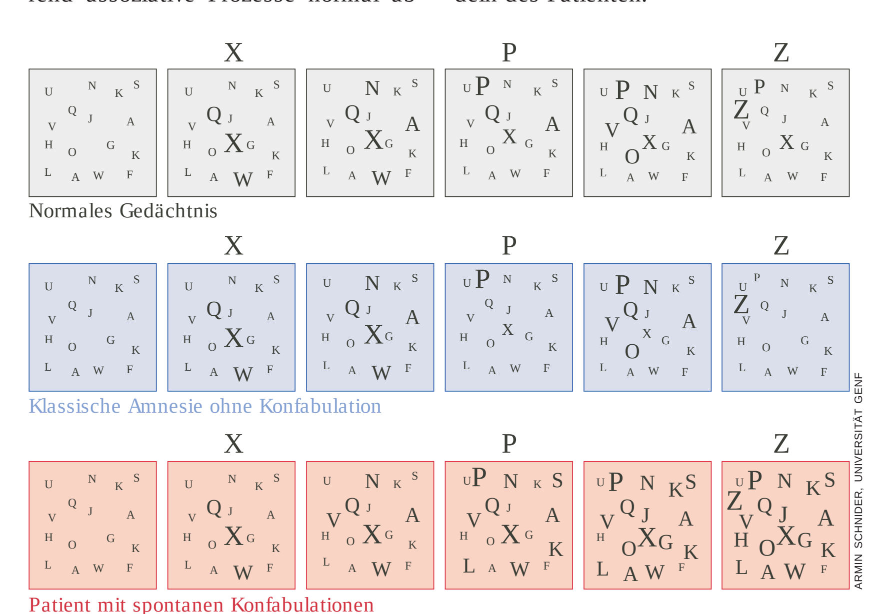
Meine Mitarbeiter und ich haben diese Störung in der Rehabilitationsklinik des Genfer Universitätsspitals genauer untersucht und dabei einen faszinierend einfachen Mechanismus entdeckt, mit dem das menschliche Gehirn diejenigen Gedanken, die sich auf die aktuelle Realität beziehen, aus allen gedanklichen Assoziationen herausfiltert.

Die geschilderten Patienten leiden immer unter einer schweren Gedächtnisstörung, derer sie sich aber nicht bewusst sind. Oft glauben sie nicht einmal, eine Hirnschädigung erlitten zu haben und sich im Krankenhaus zu befinden. Deshalb wollen sie in der Überzeugung, zu Hause zu sein und wie üblich zur Arbeit gehen zu müssen, immer wieder die Klinik verlassen. Ein Arzt, der ein Hirntrauma erlitten hatte, eilte unvermittelt aus dem Spital im festen Glauben, dass Patienten in seiner Praxis auf ihn warteten.

Im Gespräch erscheinen Personen mit einer solchen Störung normal und geordnet. Die Wiedergabe ihrer Tageserlebnisse wirkt durchaus überzeugend, außer dass sie völlig unvereinbar mit dem Aufenthalt in der Klinik ist. Bisweilen setzen sich die Geschichten aus Erinnerungsspuren zusammen, die sich auf Jahre zurückliegende Ereignisse beziehen. So lief eine Frau, die eine Blutung aus einem Gefäß an der Unterseite des Stirnhirns erlitten hatte, von der Untersuchung davon, weil sie meinte, ihr Kind stillen zu müssen; doch das „Kind“ war bereits mehr als dreißig Jahre alt. Für die Betrof- ►

Wie der Realitätsfilter arbeitet

Das Gedächtnis, hier dargestellt durch Quadrate, enthält Netzwerke von Neuronen, die Erinnerungsspuren entsprechen. Kleine Buchstaben stehen für inaktive und große für aktive Netzwerke, wobei die Buchstabendicke und -größe das Ausmaß der Aktivierung andeutet. Im gesunden Gedächtnis (oben) erzeugt jede Wahrnehmung (X, dann P, später Z) eine Erinnerungsspur, indem sie Neuronen zu einem neuen Netzwerk zusammenschaltet. Zugleich aktiviert sie schon vorhandene Netzwerke (zunächst Q und W, dann zusätzlich N und A). Bei einer weiteren Wahrnehmung werden diejenigen Assoziationen, die keinen Bezug zur neuen Realität haben, wieder gelöscht (N und W nach Auftreten von P; A, N, V und Q nach Auftreten von Z). Der Realitätsfilter behindert die assoziativen Prozesse des Cortex also nicht, bringt das Denken aber stets in die aktuelle Realität zurück. Bei einer klassischen Amnesie (Mitte) funktionieren sowohl die assoziativen Prozesse im Cortex als auch der Realitätsfilter normal. Der Patient hat also den Bezug zur aktuellen Realität. Neue Wahrnehmungen werden aber nicht dauerhaft im Langzeitgedächtnis abgelegt. Ganz anders die Situation beim spontan konfabulierenden Patienten (unten): während assoziative Prozesse normal ablaufen, bleiben aktivierte Erinnerungsspuren (Gedanken), die keinen Bezug zur Realität mehr haben, weiter aktiv und bestimmen das Denken und Handeln des Patienten.



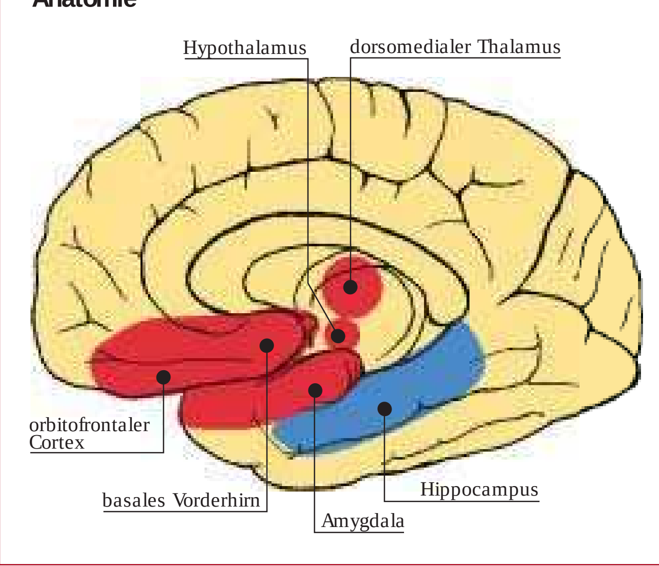
Wo der Realitätsfilter sitzt

Hirngebiete, die auf Grund von Läsionsstudien zum Realitätsfilter gehören (rot in der Grafik links), umfassen neben dem orbitofrontalen Cortex und dem basalen Vorderhirn auch die damit verbundenen Strukturen Amygdala (Mandelkern), den dorsomedialen Kern des Thalamus und den mittleren Hypothalamus. Sie alle gehören zum vorderen limbischen System. Bei reinen Speicherstörungen (klassische Amnesie ohne Spontankonfabulation) ist dagegen typischerweise die Hippocampusgegend (blau) geschädigt.

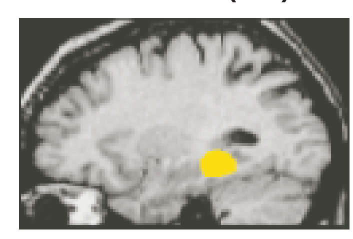
Wenn gesunde Personen neue Information speicherten, zeigte sich bei Untersuchung mittels Positronen-Emissionstomographie (PET) eine Aktivierung der Hippocampusgegend (Mitte oben). Wenn sie dann aber zwischen Gedächtnisspuren unterscheiden mussten, die sich auf das „Jetzt“ bezogen oder nicht, wurde der orbitofrontale Cortex beansprucht (Mitte unten).

Die Computertomographie (CT) von zwei spontan konfabulierenden Patienten (rechts) zeigt jeweils Schädigungen des vorderen limbischen Systems (gelber Kreis). Besonders typisch für diese Art von Amnesie sind traumatische Verletzungen des orbitofrontalen Cortex (rechts oben) oder eine Schädigung des basalen Vorderhirns nach Hirnblutung (rechts unten).

Anatomie

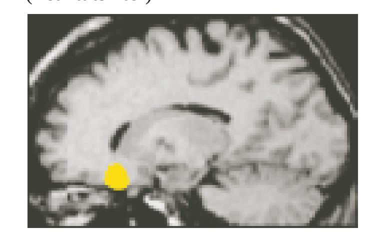


Gesunde Personen (PET)



Informationsspeicherung

Selektion von Gedächtnisspuren (Realitätsfilter)



Patienten (CT)

ARMIN SCHNIDER, UNIVERSITÄT GENF

fenen stellen solche erinnerten Ereignisse aber die aktuelle Wirklichkeit dar, an die sie mit der gleichen Überzeugung glauben wie ein Gesunder an die seine.

Diese Patienten erwecken den Eindruck, als ob sich bei ihnen Erinnerungen im falschen Moment vordrängen und ihnen dann als gegenwärtige Realität erscheinen. Wir haben diese Vermutung in mehreren Studien untersucht. Im entscheidenden Experiment sahen die Patienten eine lange Serie von Bildern, die sich teils mehrmals wiederholten. Diese Wiederholungen mussten sie erkennen.

Eine solche Aufgabe setzt die Fähigkeit voraus, neue Informationen ins Gedächtnis aufzunehmen, also zu lernen. Hier unterschieden sich spontan konfabulierende Patienten nicht von solchen mit einer gewöhnlichen Amnesie. Ihre Leistung entsprach teilweise sogar der von Gesunden. Das änderte sich jedoch in der zweiten Phase des Experimentes. Sie bestand in einer mehrfachen Wiederholung der Aufgabe, wobei immer genau die gleiche Bildserie, aber jedesmal in anderer Reihenfolge gezeigt wurde. Die Patienten erhielten jetzt die Anweisung, zu vergessen, dass sie alle Bilder schon gesehen hatten, und nur Bildwiederholungen im aktuellen Durchgang anzugeben.

Zu viel Gedächtnis

Verlangt wurde also nicht mehr die Fähigkeit, Neues zu lernen. Stattdessen ging es um die Differenzierung zwischen „jetzt“ und „früher“. Normalen amnestischen Patienten mit einer Störung des Langzeitgedächtnisses gelang dies ebenso wie gesunden Personen ohne Mühe. Spontan konfabulierende Patienten hatten dagegen größte Probleme: Selbst wenn die Durchgänge im Abstand von einer halben oder gar einer vollen Stunde gemacht wurden, meinten sie immer wieder, wenn ihnen ein Bild zum ersten Mal in der aktuellen Runde gezeigt wurde, sie hätten es gerade schon einmal gesehen. Sie waren offenbar nicht im Stande, Erinnerungsspuren aus dem vorherigen Durchgang zu unterdrücken. Die Erinnerung an die frühere Präsentation blieb in ihrem Denken aktiv; zuvor gezeigte Bilder waren noch genauso präsent wie eben erst dargebotene.

Das galt ausnahmslos für alle spontan konfabulierenden Patienten. Außerdem stellten wir fest, dass ein Nachlassen der Neigung, Erinnerungen mit der Gegenwart zu verwechseln, stets auch mit einer Verbesserung der Fähigkeit einherging, Gedächtnis-Inhalte zu unterdrücken, die sich nicht auf die Gegenwart bezogen. Man könnte sagen, dass spontane Konfabulatoren im falschen Moment zu viel aktive Erinnerung haben.

Diese Beobachtungen legen den Schluss nahe, dass das Gehirn gleichsam über einen Realitätsfilter verfügt. Er lässt nur solche Gedächtnis-Inhalte passieren, die sich auf die Gegenwart beziehen; aktivierte Erinnerungsspuren, für die das

nicht gilt, unterdrückt er dagegen oder inaktiviert sie wieder. Weshalb aber sind spontan konfabulierende Patienten genauso felsenfest von ihrer Realität überzeugt wie gesunde Personen?

Zur Klärung dieser Frage machten wir das beschriebene Experiment mit gesunden Probanden und maßen dabei mit dem Elektroenzephalographen (EEG) ihre hirnelektrische Aktivität. Mit dem Verfahren lassen sich Aktivitätsänderungen an der Hirnoberfläche innerhalb von Millisekunden erfassen. Wie wir mit diesen Messungen herausfanden, werden aktuell nicht relevante Gedächtnisspuren schon nach etwa 200 bis 300 Millisekunden unterdrückt. Das ist nur rund die Hälfte der Zeitspanne von 400 bis 500 Millisekunden, die vergeht, bis sich Prozesse des Lernens und Wiedererkennens in den Messdaten zeigen.

Unbewusste Echtheitsprüfung

Demnach beeinflusst unser Gehirn die corticale Repräsentation von Gedanken im Hinblick auf ihren Realitätsbezug, ehe überhaupt ihr Inhalt erkannt wird. Mit andern Worten: Noch bevor wir uns eines Gedankens bewusst werden, hat unser Gehirn bereits festgestellt, ob er sich auf unsere momentane tatsächliche Situation bezieht oder nicht.

Das macht nicht nur verständlich, warum spontan konfabulierende Patienten, bei denen dieser Filter nicht funktioniert, von ihrer falschen Realität absolut überzeugt sind. Es dürfte zugleich die Fähigkeit unseres Gehirns erklären, zwischen der Erinnerung an eine Fantasie und an ein wirkliches Geschehnis zu unterscheiden. Schon als die entsprechenden Informationen gespeichert wurden, hatte sie das Gehirn nämlich nach ihrem Realitätsbezug klassifiziert und ihre corticale Repräsentation (ihr „Speicherformat“) entsprechend angepasst.

Wie unsere Beobachtungen ergaben, entscheidet nicht die Art der Hirnschädigung, sondern ihr Ort über das Auftreten spontaner Konfabulationen. Alle Patienten mit einer solchen Realitätsverkennung weisen eine Läsion im vorderen limbischen System auf, einer Region an der Unterseite des Gehirns. Dabei sind immer Strukturen betroffen, die eine direkte neuronale Verbindung mit dem „orbitofrontalen Cortex“ an der Unterseite des Stirnhirns haben. Bei einer „klassischen“ Amnesie ohne Spontankonfabulationen ist dagegen typischerweise die Hippocampusgegend im hinteren Teil des limbischen Systems geschädigt.

Eine weitere Untersuchung mit gesunden Probanden bestätigte, dass Informationsspeicherung und Realitätsprü- ▶

fung an unterschiedlichen Orten im Gehirn stattfinden. Dabei maßen wir mittels Positronen-Emissionstomographie die Hirnaktivität während des geschilderten Experiments. Dieses Verfahren hat zwar nur eine relativ geringe zeitliche Auflösung, zeigt dafür aber Aktivitätsänderungen nicht nur an der Oberseite des Gehirns, sondern auch in tieferen Regionen.

Wie erwartet, wurden beim ersten Durchgang des Experiments, wo es auf das Lernen ankam, der Hippocampus und der umliegende Cortex aktiv. Beim Wiederholen der Aufgabe, als es um die Unterscheidung zwischen „jetzt relevant" und „zwar bekannt, jetzt aber nicht relevant" ging, war dagegen der hintere mittlere Orbitofrontalcortex besonders beschäftigt, während die Hippocampusregion ruhig blieb.

Rückbesinnung auf die Realität

Demnach erfüllen unterschiedliche Bereiche des limbischen Systems komplementäre Gedächtnisfunktionen. Der hintere Teil (die hippocampale Formation) vermittelt die dauerhafte Speicherung von Informationen im Cortex. Dagegen bezieht der vordere Teil, insbesondere der mit dem orbitofrontalen Cortex verbundene Bereich, unser Denken immer wieder auf die Wirklichkeit zurück, indem er gedankliche Assoziationen (aktivierte Gedächtnisspuren) unterdrückt, die keinen Bezug zur aktuellen Realität haben.

Das vordere limbische System ist eine entwicklungsgeschichtlich alte Hirnstruktur. Sie war bisher als Zentrum für Emotionen bekannt. Außerdem gilt sie als Schaltstelle des „Belohnungssystems", das dauernd überprüft, ob eine erwartete Belohnung (oder Bestrafung) auch tatsächlich eingetreten ist.

Höchst bemerkenswert erscheint in diesem Zusammenhang das Ergebnis von Tierexperimenten aus den 1980er Jahren. Damals entdeckten Wissenschaftler Zellen im Cortex, die nur dann vermehrt „feuerten", wenn eine erwartete Belohnung ausblieb. Diese Zellen signalisieren dem Gehirn also, dass seine Erinnerung, wonach einer bestimmten Situation bisher regelmäßig eine Belohnung folgte, nicht mehr auf die jetzige Realität zutrifft. Interessanterweise liegen sie genau in derjenigen Region des Orbitofrontalcortex, die bei unseren Patienten verletzt war und bei den gesunden Probanden aktiviert wurde. Vermutlich sind diese Neuronen also identisch mit denen, die als Realitätsfilter im Denken dienen. ■

Armin Schnider *ist Professor für Neurorehabilitation an der Universität Genf.*

Nachgehakt

Kinder, Kinder

Wir leben in schwierigen Zeiten. Krieg gegen den Terror, Terror gegen den Krieg, undifferenzierte Zellen versus „kleine Menschen" sowie geklonte Mäuse, Ferkel und Menschen – täglich ein neues moralisches Dilemma. Am schlimmsten ist es dort, wo moderne Biotechnologie und menschliche Fortpflanzung zusammentreffen.

Hier in Großbritannien fehlt zwar die Stammzelldebatte (Forschung ist erlaubt), dafür gibt es mindestens einmal in der Woche eine andere Bioethik-Krise. Gerade erst hat die Nation den Schock überstanden, dass Diane Blood ihr zweites Kind erwartet. Was, Sie erinnern sich nicht? Die gute Frau hat vor einigen Jahren Sperma ihres sterbenden Gatten einfrieren lassen. Vor Gericht erstritt sie sich das Recht, das kostbare Gefriergut nach Belgien zu exportieren, wo sie sich damit befruchten ließ. Und weil es alles so gut klappte, hat sie jetzt einen zweiten Ausflug nach Brüssel unternommen. Die britischen Behörden rächten sich für den Sperma-Tourismus, indem sie die Mutter zwangen, den Vater als unbekannt anzugeben. Rechtlich werden ihre beiden Kinder nun als Halbgeschwister eingestuft.

Eine Woche später waren es wieder einmal siamesische Zwillinge – ein noch nicht geborenes Pärchen, das gesund zu sein scheint, aber nur ein Herz hat. Die Eltern streiten vor Gericht dafür, dass nach der Geburt die Trennungsoperation stattfinden kann, die dem einen Kind ein normales Leben ermöglichen, seinen eineiigen Zwilling aber töten wird.

Und Ende Februar kam dann die lange erwartete amtliche Entscheidung über das Schicksal des Jungen Zain Hashmi. Dieser kann nur mit Hilfe von Stammzellen aus der Nabelschnur eines noch nicht geborenen Bruders überleben. Die Eltern haben vergeblich versucht, auf natürlichem Wege einen passenden Stammzellspender zu erzeugen (jetzt haben sie zwar jede Menge Kinder, aber immer noch keinen Lebensretter). Da nun die biologischen Uhren sowohl für Zain als auch für seine Mutter langsam ablaufen, wollen sie das rettende Geschwisterchen per Präimplantationsdiagnostik (PID) produzieren. Die für solche Fragen zuständige Fortpflanzungsbehörde HFEA (*Human Fertilisation and Embryology Authority*, www.hfea.gov.uk) entschied im Dezember 2001, dass in seltenen Ausnahmefällen PID zum Nutzen schwer kranker Geschwister angewandt werden kann, doch muss jeder Einzelfall von der Behörde genehmigt werden.

So genannte Lebensschützer (vertreten durch eine Organisation namens LIFE) haben klar Stellung bezogen: Zain muss sterben, das rettende Baby darf nicht geboren werden. Anzahl der geschützten Leben nach Adam Riese: minus zwei. Ihr Argument, das ich auch mit wochenlangem Drücken und Quetschen nicht in meinen offenbar zu kleinen Kopf hineinkriege: Das Leben des zu erzeugenden Babys darf nicht einem Zweck dienen. Das Leben seines Bruders zu retten, ist offenbar kein guter Grund, geboren zu werden.

Aber überlegen wir doch einmal, was für andere Gründe es gibt. Wer geboren wird und wer nicht, darüber entscheidet bisher fast allein der Zufall. Da von Millionen Spermien jeweils nur einziges Erfolg hat, sind wir alle Lottogewinner. Statt eines jeden von uns hätten Millionen anderer Menschen zur Welt kommen können, die uns nur so ähnlich wären wie Geschwister. Dem Zufall zur Hand gehen andere Begleitumstände und Entscheidungen der potenziellen Eltern. Neben den Wunschkindern (die aber immer noch Lottogewinner sind) laufen Millionen von „Unfällen" durch die Welt. Manch einer wurde geboren, weil an einem bestimmten Abend nichts Interessantes im Fernsehen lief, der Strom ausfiel, die Eltern zu betrunken waren, um an Verhütung zu denken, oder im Eifer des Gefechts ein Kondom abrutschte.

Drei Monate nach der Grundsatzentscheidung hat die HFEA jetzt den Hashmis die offizielle Erlaubnis für das IVF/PID-Wunschkind erteilt. Aber natürlich kann niemand garantieren, dass der ausgewählte Embryo sich auch dauerhaft in der Gebärmutter einnistet und dort bis zur Geburt heranwächst. Wenn es denn klappt, wird das jüngste Hashmi-Kind mit dem Bewusstsein leben können, dass es schon im Moment seiner Geburt seinem Bruder das Leben rettete. Warum es – inmitten all der Unfälle und Lotteriegewinner – darauf nicht stolz sein sollte, will mir nur schwer einleuchten.

Michael Groß
www.michaelgross.co.uk

PROTEOMIK

Fischzug in der Zelle

Mit molekularen Ködern und Angelhaken konnten zwei Teams tausende Proteinverbände in der Hefe aufspüren und so ein erstes Schlaglicht auf das komplexe Netz der Proteinwechselwirkungen werfen, die für das Funktionieren einer Zelle sorgen.

Von Michael Groß

Eine Freundin meiner Mutter hat einen Neffen, der im vorigen Jahr als Staatsminister in die deutsche Bundesregierung berufen wurde. Wenn ich also auf persönlichem Wege eine wichtige Botschaft an den deutschen Bundeskanzler übermitteln wollte, könnte ich das über vier Ecken tun.

Einer Untersuchung des amerikanischen Psychologen Stanley Milgram aus dem Jahre 1967 zufolge lässt sich jeder Erwachsene, der nicht gerade als Einsiedler auf einer Insel lebt, mit jedem anderen über höchstens sechs jeweils miteinander bekannte Zwischenträger verbinden. Wir sitzen offenbar in einem hochgradig komplexen sozialen Netzwerk mit erstaunlich kurzen Wegen zwischen den einzelnen Punkten – eine Tatsache, die oft als „Kleine-Welt-Paradoxie" bezeichnet wird.

Solche Netzwerke zu untersuchen, ist bei Menschen relativ einfach. Eine Person kann man notfalls nach ihren Bekannten fragen oder auch vollelektronisch ihre Email- oder Telefonpartner ermitteln. Deutlich schwieriger wird die Analyse in der Welt der Zelle, wo gleichfalls tausende Akteure – in diesem Fall Proteine – miteinander kommunizieren, kooperieren oder sonstwie interagieren. Herauszufinden, wer hier mit wem Kontakt hat und warum, ist genau die Herausforderung, vor der die Biologie nach der Entschlüsselung zahlreicher Genome einschließlich des menschlichen steht. Für Bemühungen in dieser Richtung hat sich inzwischen der Begriff Proteomik eingebürgert.

Erste Ansätze auf diesem Gebiet zielten darauf ab, Eins-zu-eins-Beziehungen zwischen Paaren von Proteinen aufzudecken. Das entspricht dem Versuch, durch Analyse des Telefonverkehrs zu ermitteln, welche Menschen miteinander sprechen. Daraus erfährt man aber noch nicht, welchen Vereinen und Verbänden sie angehören oder welche Rolle sie im Beruf und Familienverbund spielen. Soziale Netzwerke sind komplizierter als eine Ansammlung von Linien zwischen jeweils zwei Punkten. Dasselbe gilt für die Protein-Netzwerke der Zelle.

Zwei Arbeitsgruppen, die eine am Europäischen Molekularbiologischen ▶

NATURE, BD. 415, S. 123

Zum Angeln von Proteinverbänden in Hefezellen dienten Köder mit Klebelasche. Diese lockten all die Proteine an, die sich auch normalerweise in der Zelle mit dem Köderprotein zu einem Aggregat verbinden. Die Klebelasche hielt den gesamten Verband dann in einer Trennsäule zurück. Nach dem Auswaschen der verschiedenen Aggregate aus der Säule wurden sie per Gel-Elektrophorese in die enthaltenen Proteine aufgespalten. Diese ließen sich schließlich durch teilweises Zerlegen mit dem Enzym Trypsin und massenspektrometrische Analyse der erhaltenen Fragmente identifizieren.

Laboratorium (EMBL) in Heidelberg, die andere bei der Firma MDS Proteomics in Toronto, haben nun unabhängig voneinander die ersten umfassenden Analysen solcher intrazellulären Beziehungsgeflechte vorgestellt (Nature *Bd. 415, S. 141 und 180, 2002*). Als Versuchsobjekt diente die Bierhefe (*Saccharomyces cerevisiae).* Dieser einzellige Pilz gilt als Modellorganismus für die elementare Zellbiologie der Pflanzen und Tiere, da er ebenso wie die komplizierteren Lebewesen zum Ur-Reich der mit echtem Zellkern ausgestatteten Eukaryonten gehört. Viele Vorgänge, die für das Überleben einer einzelnen Zelle unabdingbar sind, werden selbst noch beim Menschen von ähnlichen Genen gesteuert wie bei der Hefe.

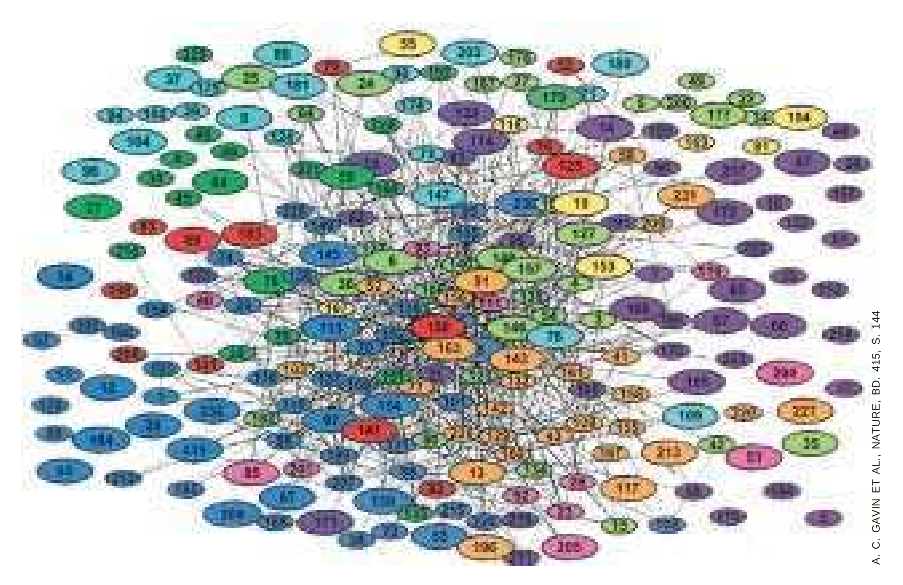
Beide Arbeitsgruppen gingen davon aus, dass Proteine, die miteinander wechselwirken, sich zu diesem Zweck zusammenlagern müssen (schließlich verfügen sie weder über Email noch Telefon). Beide Teams benutzten zudem ähnliche Verfahren, um solche Proteinverbände aus der Zelle zu fischen und zu analysieren.

Zunächst erzeugten sie viele verschiedene genmanipulierte Hefestämme. In jedem hatten sie jeweils ein bestimmtes Gen so abgeändert, dass das zugehörige Protein mit einem Affinitätsmarker – sprich: Etikett – versehen war: einer Art Schwanz, der bewirkt, dass dieser Eiweißstoff samt allem, was sich mit ihm zusammengelagert hat, mit hoher Selektivität an einem speziellen „Angelhaken" haften bleibt. Dadurch lässt sich der Proteinverbund, der diesen markierten „Köder" enthält, mit relativ geringem Aufwand und in hoher Reinheit vom Rest des Zellinhaltes abtrennen. Die so geangelten Aggregate wurden dann mit dem klassischen Trennverfahren der Gel-Elektrophorese in ihre Proteinkomponenten zerlegt und diese schließlich mittels Verdauungsenzymen in Fragmente aufgespalten, die sich massenspektrometrisch identifizieren ließen.

Angeln mit tausenden Ködern

Der ganze Vorgang ist schon aufwendig genug, wenn man nur ein Köderprotein verwendet und die Proteine identifizieren will, die sich daran heften. Um die Wechselwirkungen im Hefeproteom auch nur halbwegs vollständig zu erfassen, muss man allerdings tausende Köder einsetzen und zigtausende Proben der Massenspektrometrie unterwerfen.

Die EMBL-Wissenschaftler, welche die größer angelegte der beiden Studien durchführten, gingen von mehr als 1700 Genen aus. Dabei wählten sie vor allem



Die Proteine in der Hefezelle sind über ihre Wechselwirkungen zu einem hochkomplizierten Netzwerk verknüpft. Die Forscher am Europäischen Molekularbiologischen Laboratorium (EMBL) in Heidelberg haben die von ihnen identifizierten Proteinverbände durchnummeriert und gemäß einem Farbcode nach Funktion aufgeschlüsselt. Aggregate, die mindestens ein Protein gemeinsam haben, sind durch eine Linie verbunden.

solche, die es in ähnlicher Form auch beim Menschen gibt. Bei 1167 von ihnen konnten sie Hefezellen erzeugen, die das Köderprotein in nachweisbaren Mengen produzierten. Auf diese Weise gelang es ihnen schließlich, rund 16000 Wechselwirkungen zu erkennen, an denen rund ein Viertel aller Hefeproteine beteiligt waren. Ermöglicht wurde dies nur durch massiven Personaleinsatz: Nicht weniger als 38 Autoren zieren den Kopf der EMBL-Veröffentlichung. Mit nur rund 700 Ködern nimmt sich das kanadische Projekt, obwohl im Grunde auch staunenswert, dagegen beinahe schon bescheiden aus.

Abgesehen von der schieren Masse der zu bewältigenden Analysen stehen die Proteomik-Pioniere auch vor einem grundsätzlichen Problem. Es rührt von der Flüchtigkeit der Wechselwirkungen her, die Eiweißstoffe für eine gewisse Zeit aneinander binden. Die Angelmethoden der Forscher waren darauf abgestimmt, möglichst viele Proteinverbände zu erwischen – auch solche mit nur schwachem Zusammenhalt. Dabei gingen zwangsläufig Aggregate mit ins Netz, deren Komponenten sich nicht spezifisch und funktionsbedingt, sondern rein zufällig zusammengelagert hatten. Manche Proteine sind eben einfach von Natur aus „klebrig" und bleiben daher an allen möglichen anderen Molekülen hängen.

Die Heidelberger Arbeitsgruppe entwickelte deshalb Kriterien zum Ausschluss solch promiskuitiver Kandidaten. Zum Beispiel wurden alle Proteine ausgeschieden, die sich an mehr als 20 verschiedene Köder hefteten. Dennoch rechnen die Forscher mit bis zu 30 Prozent falsch-positiven Ergebnissen. Andererseits sind einige wohlbekannte Wechselwirkungen der Köderproteine nicht in Erscheinung getreten. Dies könnte zum Beispiel daran liegen, dass das Etikett der Zusammenlagerung im Weg stand.

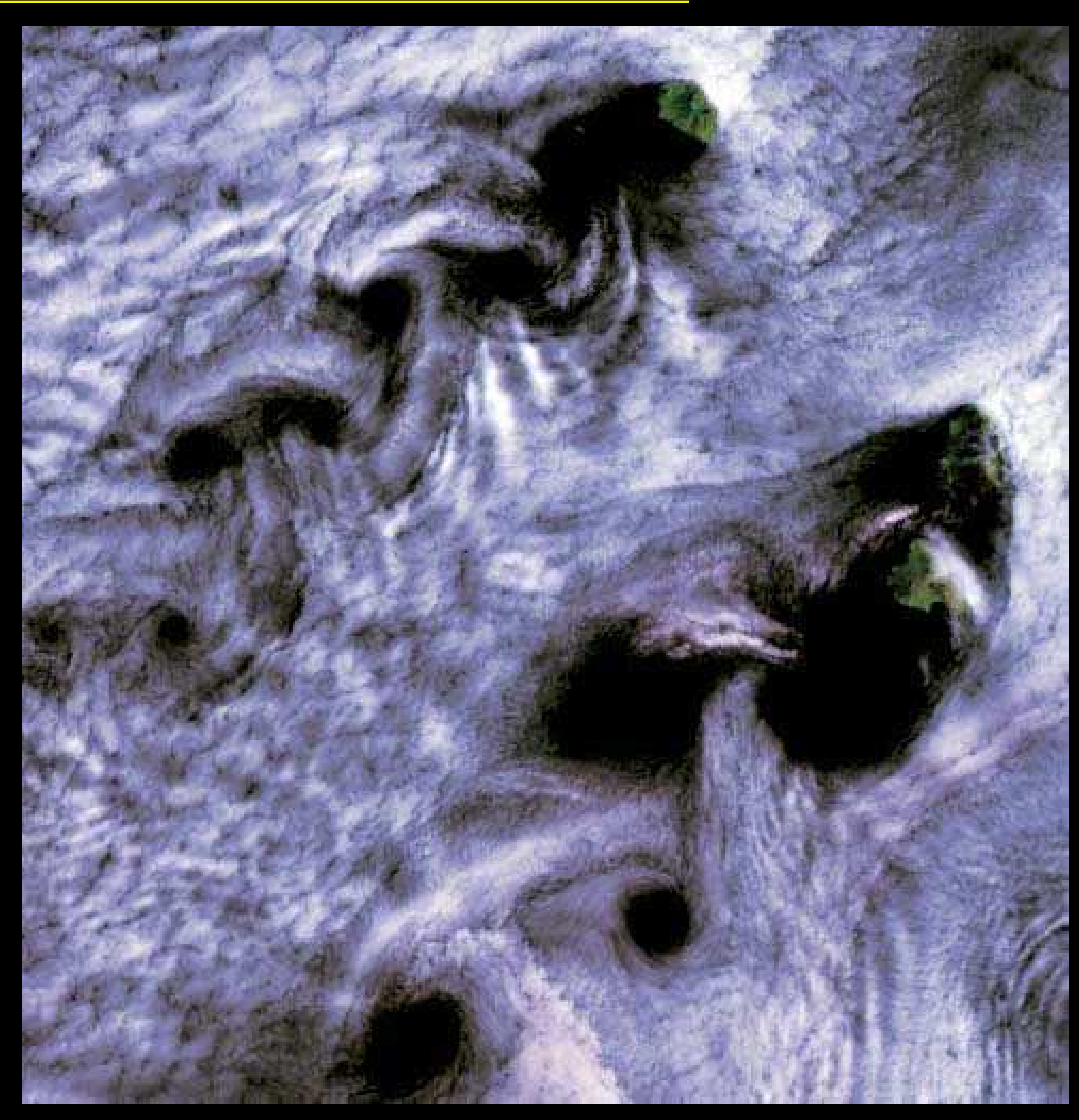
Landkarten der Proteinnetze

Den Wert der jetzt präsentierten ersten Landkarten der Proteinnetzwerke von *Saccharomyces cerevisiae* schmälert das freilich kaum. Zusammen bilden die beiden Untersuchungen einen imposanten Meilenstein auf dem Weg zur vollständigen Charakterisierung des Hefeproteoms. Dennoch sind sie erst der Anfang. Weitere, ebenso arbeitsintensive Studien werden erforderlich sein, um die Trefferquote zu verbessern, die Erfassung in die Nähe der 100 Prozent zu bringen und schließlich zu höheren Lebewesen bis hin zum Menschen vorzustoßen.

Zudem muss für wirklich zuverlässige Aussagen jeder in solchen Massentests gefundene Proteinkomplex anschließend gesondert in größeren Mengen isoliert werden, damit man seine Funktion genau erforschen kann. Bis die Netzwerke in der kleinen Welt der Zelle entwirrt sind, steht den Forschern also noch ein immenses Stück Sisyphus-Arbeit bevor. ■

Michael Groß *ist Biochemiker und Honorary Science Writer in Residence am Birkbeck College in London.*

Wirbelstraßen aus Wolken



U.S. GEOLOGICAL SURVEY EROS DATA CENTER

Hinter einem umströmten Hindernis entsteht unter bestimmten Bedingungen eine Serie von Wirbeln mit alternierendem Drehsinn. Sie wird nach ihrem Entdecker, dem ungarischen Ingenieur und Mathematiker Theodore von Kármán, als Kármán'sche Wirbelstraße bezeichnet. Das Phänomen tritt auch in der Atmosphäre auf, wenn beispielsweise eine Insel einem driftenden Wolkenfeld im Weg steht. Das Strömungsmuster lässt sich dann besonders schön erkennen, da die Wolken in seinen Sog geraten und im Zentrum der Wirbel jeweils ein wolkenfreies „Auge" entsteht. Gleich zwei spektakuläre Exemplare einer solchen Wirbelstraße zeigt diese Falschfarben-Landsat-Aufnahme, in der Daten aus dem infraroten, nah-infraroten und roten Spektralbereich kombiniert wurden. Als Hindernisse wirken die 690 bis 800 Meter hohen Inseln Broutona, Tschirpoj und Brat Tschirpojow (von oben nach unten) aus der Gruppe der Kurilen, die sich zwischen Japan und der russischen Halbinsel Kamtschatka erstrecken. Die Seitenlänge des abgebildeten Gebiets beträgt fünfzig Kilometer.

Das meiste Licht im Universum stammt vermutlich von Galaxien wie M 82, in denen zehnmal mehr Sterne entstehen als in unserem Milchstraßensystem, und in deren Zentren sich massereiche Schwarze Löcher verbergen. Solche Galaxien werden oft von dichten Staubwolken verhüllt. Deshalb haben die Astronomen erst in den letzten Jahren herausgefunden, wie viele derartige Sternsysteme es im Universum gibt.

Alles Licht der Welt

Kennen die Astronomen alle leuchtenden Objekte im Universum? Eine diffuse Strahlung, Summe des Röntgenlichts aller Sterne und anderer Strahlungsquellen, hilft bei der Inventur.

Von Günther Hasinger und Roberto Gilli

Mit immer größeren Teleskopen blicken die Astronomen immer tiefer in die Weiten des Kosmos. Die Medien können fast täglich über neue Entdeckungen am Himmel berichten: ein neuer Himmelskörper, ein neuer physikalischer Prozess, eine neue Form von Materie. Hat dieses Vordringen zu immer größeren Entfernungen und zu immer lichtschwächeren Himmelskörpern irgendwann ein Ende? Wird der Tag kommen, an dem die Astronomen davon überzeugt sind, eine komplette Inventur des Universums gemacht zu haben?

In diesem allgemeinen Sinne ist die Antwort sicherlich Nein. Denn die Astronomen wissen bereits, dass der überwiegende Teil der Materie nicht leuchtet und demzufolge auch nicht direkt zu sehen ist. Das macht weitere Überraschungen unvermeidlich. Aber was die Sterne und Galaxien sowie alle anderen bekannten und noch zu entdeckenden Bestandteile des Kosmos angeht, die selbst Strahlung aussenden, können die Astronomen optimistisch sein: Der Tag, an dem sie nahezu alles Licht der Welt bekannten Typen von Himmelskörpern zuordnen können, scheint nicht mehr fern zu sein.

Einige Forscher haben nämlich im Laufe der Zeit einen Test entwickelt, der zeigt, ob sie im Universum irgendetwas Wichtiges übersehen haben. Dazu untersuchen sie das, was für die meisten Beobachter uninteressant oder sogar lästig ist: die so genannte Hintergrundstrahlung. Wenn Wissenschaftler – egal welcher Disziplin – von „Hintergrund" reden, dann meinen sie üblicherweise alles, was nicht unmittelbar mit ihrem Forschungsgegenstand zu tun hat. Wenn zum Beispiel ein Teleskop die Strahlung eines Sterns sammelt, dann fällt zwangsläufig auch das Licht von anderen Quellen mit ein – zum Beispiel solches, das von Staubteilchen längs der Sichtlinie in Richtung Beobachter gestreut wird. Dieses zusätzliche Licht reduziert die Genauigkeit der Messung.

Im Gegensatz zu den meisten unserer Fachkollegen interessieren wir uns gerade für diesen störenden Hintergrund. Dazu messen wir zunächst die gesamte Strahlung, die aus einer gegebenen Richtung kommt. Dann ziehen wir ▶

PETER CHALLIS, HARVARD-SMITHSONIAN CENTER FOR ASTROPHYSICS



ROGER RESSMEYER / CORBIS

nach und nach den „Vordergrund“ ab, also die Beiträge aller bekannten Sterne, Galaxien und Gaswolken. Wenn dann noch ein Restsignal übrig bleibt, ein diffuses Leuchten unbekannter Herkunft, dann wissen wir, dass unsere Kenntnis der Himmelsobjekte noch unvollständig ist.

Manchmal ist ein diffuses Leuchten darauf zurückzuführen, dass viele Objekte so nahe beieinander stehen, dass das Auflösungsvermögen des Beobachtungsinstruments nicht ausreicht, sie einzeln sichtbar zu machen. Ein Beispiel dafür ist die Milchstraße, die dem bloßen Auge als leuchtendes, verwaschenes Band am Himmel erscheint. Schon ein einfaches Fernglas jedoch löst den Nebelstreifen in Millionen einzelner Lichtpunkte auf.

Ein diffuses Leuchten kann seinen Ursprung allerdings auch in einer Quelle haben, die tatsächlich diffus ist, wie etwa das Zodiakallicht, das der Staub in unserem Sonnensystem hervorruft, oder die nach Supernova-Explosionen zurückbleibenden Gaswolken in unserer Galaxis. Viele solcher Quellen – aber keineswegs alle – in unserem Milchstraßensystem und in benachbarten Galaxien sind mittlerweile identifiziert und so zu einem Teil des Vordergrunds geworden. Jene Strahlung schließlich, die von weit außerhalb unserer Galaxis kommt und das gesamte Universum erfüllt, nennen wir den kosmischen Hintergrund.

In den letzten fünf Jahren, in denen die Empfindlichkeit und das Auflösungsvermögen unserer Instrumente erheblich gesteigert wurden, konnten wir Astronomen einen immer größeren Anteil des Hintergrundleuchtens erklären. Doch zugleich mussten wir lernen, dass unsere Inventarliste des Universums unvollständig war: Wir hatten die Häufigkeit extrem massereicher Schwarzer Löcher und die von ihnen verursachte Strahlung weit unterschätzt. Derartige Himmelsobjekte haben zwar sehr exotische Eigenschaften, sind aber keineswegs so selten wie lange Zeit angenommen. Frühere Untersuchungen hatten einen Großteil der Schwarzen Löcher übersehen, weil diese hinter riesigen Mengen von Staub verborgen sind. Nach der Entschleierung dieser Schwarzen Löcher aber können wir den Hintergrund vielleicht schon bald vollständig erklären.

Sterne zählen wie Käfer

Das bedeutet allerdings nicht, dass wir tatsächlich jedes Objekt gesehen haben, das es zu sehen gibt. Wir können ebenso wenig jeden Himmelskörper katalogisieren, wie ein Biologe alle Käfer einzeln zu zählen vermag. Aber genau wie die Biologen zu Recht behaupten können, dass sie alle wichtigen Landsäugetiere kennen, können wir Astronomen uns wohl schon bald sicher sein, alle wichtigen Typen leuchtender Himmelsobjekte zu kennen.

Wenn astronomisch Interessierte das Wort Hintergrund hören, denken sie sofort an die berühmte kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung. Diese den gesamten Weltraum erfüllende Radiostrahlung hat tatsächlich einen diffusen Ursprung – nämlich jenes heiße Plasma, das unseren Kosmos 400000 Jahre nach dem Urknall erfüllte. Die Expansion des Weltalls hat diese Wärmestrahlung auf eine Temperatur von 2,7 Kelvin abkühlen lassen. Das Maximum ihrer spektralen Intensitätsverteilung liegt nun bei einer Wellenlänge von etwa einem Millimeter. Aus der genauen Form dieser Strahlungskurve und winzigen richtungsabhängigen Variationen konnten einige der überzeugendsten Indizien für die Richtigkeit der Urknall-Theorie abgeleitet werden.

Die kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung ist indes nur ein Teil des gesamten Hintergrunds aus elektromagnetischer Strahlung kosmischen Ursprungs. Weitere Beiträge gibt es in anderen Wellenlängenbereichen: den weniger bekannten Röntgen-Hintergrund, den Infrarot-Hintergrund und den optischen Hintergrund.



WFI / EUROPÄISCHE SÜDSTERNWARTE ESO

Für das bloße Auge ist das Band der Milchstraße am nächtlichen Himmel kaum mehr als ein diffuser Schleier. Erst das Teleskop löst ihn in 100 Milliarden Sterne auf (links); das Detailbild oben zeigt Sterne sowie Gas- und Dunkelwolken im Sternbild Ara. Ähnlich schummrig erscheint auch der kosmische Hintergrund – ein schwaches Glimmen zwischen den Sternen. In den vergangenen Jahren jedoch gelang es mit den modernsten Instrumenten, die einzelnen Quellen aufzuspüren, aus denen dieser Hintergrund besteht.

Eine der größten Herausforderungen für die beobachtende Astronomie ist es, alle diese Komponenten des kosmischen Hintergrunds präzise zu messen. Dabei erscheint die Aufgabe vom Prinzip her einfach: Man messe die gesamte ankommende Strahlung und subtrahiere alle bekannten Quellen – das Rauschen des Detektors, Störsignale aus unserem eigenen Sonnensystem, alle Emissionen aus der Galaxis, und so weiter. Außerdem ist eine etwaige Abschwächung des Hintergrundsignals durch den Vordergrund zu berücksichtigen.

Doch in der Praxis erweist sich dieses Verfahren als ziemlich knifflig. Denn die Subtraktion ist eine Rechenoperation, durch die sich die unvermeidlichen Messungenauigkeiten noch verstärken. In manchen Wellenlängenbereichen haben die Beobachter Glück, weil der Hintergrund die hellste Emission am Himmel ist. In anderen Bereichen hingegen ist es genau umgekehrt: Hier muss gewissermaßen ein schwaches Glimmen aus dem gleißenden Feuerschein des Vordergrunds herausgefiltert werden. Meistens ist die Genauigkeit entscheidend, mit der die Astronomen die Emissionen des Vordergrundes kennen. Sie können versuchen, dieses Problem zu umgehen, indem sie sich auf solche Regionen des Himmels beschränken, in denen es fast keine Sterne und Galaxien gibt – je langweiliger das Himmelsareal, desto besser. Trotz aller Hindernisse ist es den Astronomen auf diese Weise inzwischen gelungen, das Spektrum des kosmischen Hintergrunds über einen großen Wellenlängenbereich mit hoher Genauigkeit zu bestimmen (siehe Bild auf Seite 29).

Die Röntgen-Komponente der kosmischen Hintergrundstrahlung, 1962 entdeckt, weist bei einer Energie von etwa 30 000 Elektronenvolt – das entspricht etwa der Wellenlänge von medizinischer Röntgen-Strahlung – ein breites Maximum auf. Zu höheren Energien bis in den Gammastrahlungsbereich fällt die Kurve langsam ab. Unterhalb von 1000 Elektronenvolt sind dem Kontinuum viele atomare Emissionslinien überlagert. Diese weisen auf ein mehrere Millionen Grad heißes Gas hin, das sich innerhalb oder um unser Milchstraßensystem herum befindet.

In den siebziger Jahren zeigten die ersten Röntgen-Satelliten wie Uhuru, Ariel V und HEAO-1, dass die hochenergetische Röntgenstrahlung gleichmäßig über den Himmel verteilt ist. Sie muss deshalb vorwiegend extragalaktischen Ursprungs sein. Käme die Strahlung aus unserem Sonnensystem oder der Milchstraße, so sollte sie zur Ekliptik oder zur galaktischen Ebene hin konzentriert sein. Gamma-Satelliten wie SAS-3, Cos-B und Compton haben eine ähnlich gleichmäßige Verteilung auch bei noch höheren Energien nachgewiesen.

Während der Mikrowellen- und der Röntgen-Hintergrund in ihrem jeweiligen Spektralbereich dominieren, tragen auch die anderen Komponenten des kosmischen Hintergrunds zu diesen Strahlungen bei, wenn auch nur in geringem Maße. Erst vor wenigen Jahren gelang es mehreren Forschergruppen unabhängig voneinander, das Signal des Hintergrunds im fernen Infrarot im hochfrequenten Bereich des kosmischen Mikrowellen-Hintergrunds nachzuweisen. Im nahen bis mittleren Infrarot verdeckt das helle Zodiakallicht den Hintergrund; vor dem direkten Nachweis mussten deshalb die Astronomen auf Extrapolationen aus anderen Wellenlängenbereichen zurückgreifen. Außerdem konnte nun eine obere Grenze für den Infrarot-Hintergrund aus der Beobachtung hochenergetischer Gammastrahlung abgeleitet werden: Ein zu dichter Schleier aus Infrarot-Photonen nämlich würde die Ausbreitung der Gammastrahlung stören.

Die erste direkte Messung im optischen und im ultravioletten Spektralbereich haben Rebecca A. Bernstein von der Universität von Michigan in Ann Arbor und ihre Kollegen von den Carnegie-Observatorien in Pasadena (Kalifornien) letzten Dezember vorgestellt. Vor dieser Arbeit mussten sich die Astronomen mit einschränkenden Aussagen behelfen, die sie aus Zählungen der lichtschwächsten Galaxien mit dem Hubble-Weltraumteleskop ableiteten. Im extremen Ultraviolettbereich schließlich verschleiert das interstellare Medium den Hintergrund – hier hilft nur eine Interpolation zwischen Messungen im UV- und im Röntgen-Bereich.

Gravitationsenergie in Strahlung verwandeln

Um anhand der Hintergrundstrahlung tatsächlich unser Wissen über den Kosmos überprüfen zu können, brauchen wir ein Verfahren, das einen Vergleich von Messergebnissen und Erwartung ermöglicht. Das ist keineswegs einfach. Denn der Hintergrund ist ein schwer zu entwirrendes Gemenge diverser Strahlungen unterschiedlichster Himmelsobjekte.

Gewöhnliches, durch thermonukleare Fusion erzeugtes Sternenlicht ist im Wesentlichen auf den nahen Infrarotbereich, auf optische und auf ultraviolette Wellenlängen beschränkt. Quasare und andere aktive Galaxienkerne, deren zentrale Schwarze Löcher Materie verschlingen und dabei höchst effektiv Gravitationsenergie in Strahlung umwandeln, strahlen in einem sehr breiten Band, das vom Radiobereich bis zur Gammastrahlung reicht. Staubwolken absorbieren optische, ultraviolette und Röntgen-Strahlung, wobei sie die aufgenommene Energie im fernen Infrarot wieder abstrahlen. Noch komplizierter wird die Angelegenheit dadurch, dass sich im Hintergrund die Strahlung von Objekten völlig unterschiedlicher Entfernungen und Entwicklungsstufen vermischt. ▶

Literaturhinweise

Testing Current Synthesis Models of the X-Ray Background. Von R. Gilli, M. Salvati und G. Hasinger in: Astronomy & Astrophysics, Bd. 366, Heft 2, S. 407, Februar 2001.

Resolving the Extragalactic Hard X-Ray Background. Von R. F. Mushotzky et al. in: Nature, Bd. 404, S. 459, 30. März 2000.

The Rosat Deep Survey I: X-Ray Sources in the Lockman Field. Von G. Hasinger et al. in: Astronomy & Astrophysics, Bd. 329, Heft 2, S. 482, Januar 1998.

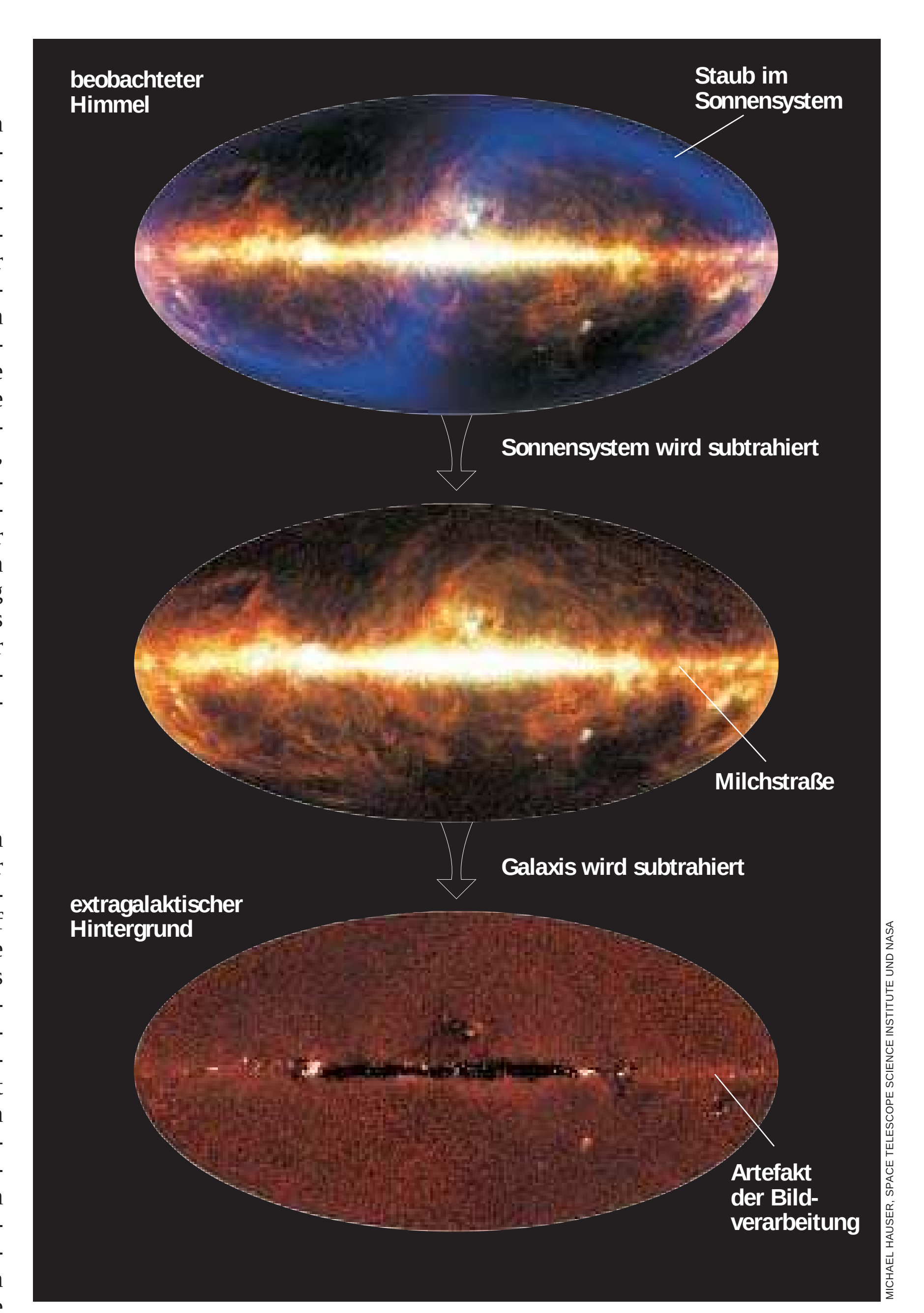
Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei **www.spektrum.de** *unter „Aktuelles Heft“.*

Eine Strategie besteht nun darin, den Himmel mit der bestmöglichen Auflösung und Empfindlichkeit zu durchmustern, um daraus Informationen über spezifische Quellen der Hintergrundstrahlung zu gewinnen. Durch Vergleich der Ergebnisse bei verschiedenen Wellenlängen können wir dann diese Quellen identifizieren. Mit dieser direkten Vorgehensweise lässt sich die erforderliche Genauigkeit jedoch nur für relativ helle Objekte in kleinen Himmelsarealen erreichen. Um ein Gesamtbild zu erhalten, müssen wir auf eine andere Methode zurückgreifen, die so genannte Populations-Synthese. Hierbei berechnen wir für verschiedene Kombinationen von Objekten, welche Hintergrundstrahlung sich ergeben würde, und vergleichen dies mit den Messungen. Dann probieren wir so lange unterschiedliche Kombinationen aus, bis eine mit den Messergebnissen übereinstimmt.

Tiefe Himmelsdurchmusterung mit dem Röntgensatelliten Rosat

Da der Röntgen-Hintergrund bereits am längsten bekannt ist, wurde er intensiver untersucht als die anderen Komponenten. Die grundlegende Frage, ob er auf nicht-aufgelöste Quellen oder auf eine bislang unbekannte Art diffusen Gases zurückzuführen ist, hatten die Astronomen drei Jahrzehnte lang heftig diskutiert („Quellen des kosmischen Röntgenhintergrundes“, SdW 3/1983, S. 54). Erst in den neunziger Jahren konnten sie den Disput mittels indirekter Argumente beilegen. Würde nämlich der Röntgen-Hintergrund von heißem intergalaktischem Gas ausgesandt, müsste dieses Gas unseren Blick auf den kosmischen Mikrowellen-Hintergrund stören: Das Spektrum des Mikrowellen-Hintergrunds würde dann von jenem eines idealen Strahlers, eines Schwarzen Körpers, abweichen. Doch die Beobachtungen – vor allem mit dem Satelliten Cobe – haben keine derartige Abweichung gefunden. Somit kann höchstens ein kleiner Teil des Röntgen-Hintergrunds von heißem Gas stammen. Zwar könnte auch kühleres Gas einen Beitrag liefern, aber der Hauptanteil muss seinen Ursprung in diskreten Quellen haben.

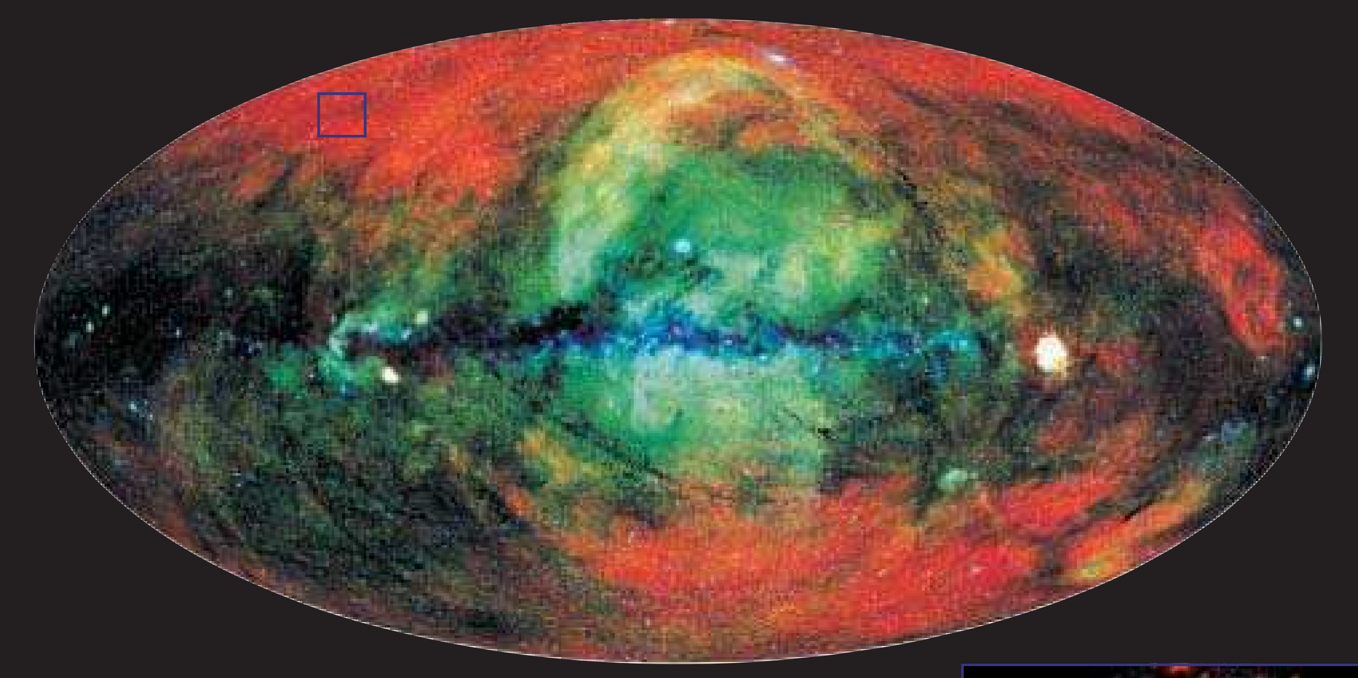
Den ersten Versuch, die Art dieser Quellen zu entschlüsseln, unternahmen in den frühen achtziger Jahren Riccardo Giacconi, der Entdecker des Röntgen-Hintergrunds, und andere mit Hilfe des Röntgen-Satelliten Einstein. Es gelang ihnen, ein Fünftel des Röntgen-Hintergrunds in Einzelquellen – wie etwa Quasare – aufzulösen. Mit dem Satelliten Rosat wurde diese Arbeit fortgesetzt.



Die Messung des kosmischen Hintergrunds gleicht der schichtweisen Entfernung von Farbe, um ein darunter liegendes Gemälde sichtbar zu machen. Von dem ursprünglichen Bild des Himmels werden Stück für Stück alle bekannten Objekte entfernt – was übrig bleibt, ist der Hintergrund. In diesen Bildern, einer Kombination von Aufnahmen im fernen Infrarot bei Wellenlängen von 60 (blau), 100 (grün) und 240 Mikrometern (rot) ist der Himmel so projiziert, dass die Ebene des Milchstraßensystems eine horizontale Linie bildet. Die Ekliptik, die Ebene des Sonnensystems, ist in dieser Darstellung S-förmig gekrümmt.

1984 trafen sich Giacconi, Maarten Schmidt (der Entdecker der Quasare), Joachim Trümper (der „Vater“ von Rosat) und einer der Autoren (Hasinger) im Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching. Gemeinsam begannen wir, eine „tiefe“ Durchmusterung des Himmels nach Röntgenquellen mit Rosat zu planen. Nach dem Start dieses Satelliten 1990 wurde diese Durchmusterung zu einem großen Forschungsprojekt, das über ein Jahrzehnt andauerte und an dem zahlreiche Wissenschaftler beteiligt waren.

Die Rosat-Durchmusterungen des so genannten Lockman-Lochs – einer Region nahe des Großen Wagens am Nordhimmel, die nahezu frei von Vordergrund-Absorption ist – gehört zu den längsten und tiefsten Untersuchungen dieser Art, die je durchgeführt worden sind. Damit ist es gelungen, 80 Prozent des Hintergrunds bei Energien unterhalb von 2000 Elektronenvolt, einem Bereich,



In der Himmelsdurchmusterung, die der Röntgensatellit Rosat durchgeführt hat, ist die kosmische Hintergrundstrahlung zu erkennen (oben): Es ist der Schleier außerhalb der Milchstraßenebene, die hier ebenfalls horizontal verläuft. Eine Detailaufnahme des so genannten Lockman-Lochs (Markierung oben), in dem der Hintergrund besonders gut sichtbar ist, stammt vom Röntgensatelliten XMM-Newton (rechts). Die Farben geben von Rot über Grün nach Blau die zunehmende Energie der Röntgenstrahlung wieder.

den die Astronomen als weiche Röntgen-Strahlung bezeichnen, in Einzelquellen aufzulösen. Als aufwendig und Zeit raubend erwies sich dann die optische Identifizierung dieser Röntgenquellen. Die meisten der optischen Gegenstücke sind äußerst lichtschwach. Als wäre das noch nicht schwierig genug, mussten wir diese Objekte obendrein spektral untersuchen, denn nur so können wir ihre Eigenschaften und Entfernungen bestimmen. Ohne die beiden Keck-Teleskope auf Hawaii mit ihren 10-Meter-Spiegeln wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen – und selbst mit diesen Riesenfernrohren war es noch schwierig genug, für die Spektren genügend Licht einzufangen.

Blockierte Sicht auf Schwarze Löcher

Wie sich zeigte, sind rund 80 Prozent der Rosat-Quellen aktive Galaxienkerne unterschiedlichster Art – hauptsächlich helle Quasare und so genannte Seyfert-1-Galaxien. Die breiten Emissionslinien dieser aktiven Galaxienkerne sind ein Indiz dafür, dass wir ungehindert in ihre innersten Regionen sehen können, also in jene Gebiete, in denen sich die monströsen Schwarzen Löcher befinden.

Die restlichen aktiven Galaxienkerne weisen allerdings nur schmale Emissionslinien auf – oder sogar überhaupt keine. Vermutlich blockieren bei ihnen Gas und Staub den Blick auf das zentrale Schwarze Loch. Diese Objekte werden als Typ-2-Quasare oder Seyfert-2-Galaxien eingestuft. Ein solcher zweiter Typ passt gut in das „vereinheitlichte Modell“ für aktive Galaxienkerne, das Mitte der achtziger Jahre vorgeschlagen wurde. Demnach haben alle aktiven Galaxienkerne nicht nur ein zentrales Schwarzes Loch, sondern auch einen Ring aus Gas und Staub. Je nach Orientierung dieses Ringes kann der Blick auf das Schwarze Loch frei oder versperrt sein. Das Modell wurde seither zwar verbessert, aber an dieser grundlegenden Aussage hat sich nichts geändert: Wir sehen also entweder einen unbedeckten aktiven Galaxienkern (Typ 1) oder einen bedeckten (Typ 2).

Die Durchmusterungen im weichen Röntgen-Bereich haben also gezeigt, dass aktive Galaxienkerne die dominierenden Quellen des kosmischen Röntgen-Hintergrunds sind. Doch als die Astronomen ihr zweites Verfahren anwendeten – die Populations-Synthese –, tauchte ein Problem auf. Durch das Aufaddieren der Spektren der unterschiedlichen Typen von aktiven Galaxienkernen, gewichtet nach ihrer Häufigkeit, sollte sich eigentlich so etwas wie das Spektrum des Röntgen-Hintergrunds ergeben – was aber nicht der Fall war. Die Spektren der aktiven Galaxienkerne nämlich sind flach oder weisen eine breite Delle auf, der Röntgen-Hintergrund hingegen zeigt einen Buckel bei 30 000 Elektronenvolt.

Giancarlo Setti von der Universität Bologna (Italien) und Lo Woltjer von der Sternwarte Haute-Provence (Frankreich), die damals gemeinsam bei der Europäischen Südsternwarte Eso in Garching arbeiteten, schlugen 1989 eine Lösung für dieses Rätsel vor. Sie vermuteten, bei der Populations-Synthese seien die aktiven Galaxienkerne nicht mit ihren korrekten Häufigkeiten berücksich- ▶

tigt worden. Entgegen der gängigen Meinung könnten, so ihr Argument, die meisten Quellen des Röntgen-Hintergrunds Typ-2-Kerne sein. Röntgenstrahlung hoher Energie – so genannte harte Strahlung – könnte nämlich den Gas- und Staubring um die Schwarzen Löcher durchdringen, während die weiche Röntgenstrahlung absorbiert werde. Dann würde das Spektrum des Röntgen-Hintergrunds anders aussehen als das der hellen aktiven Kerne.

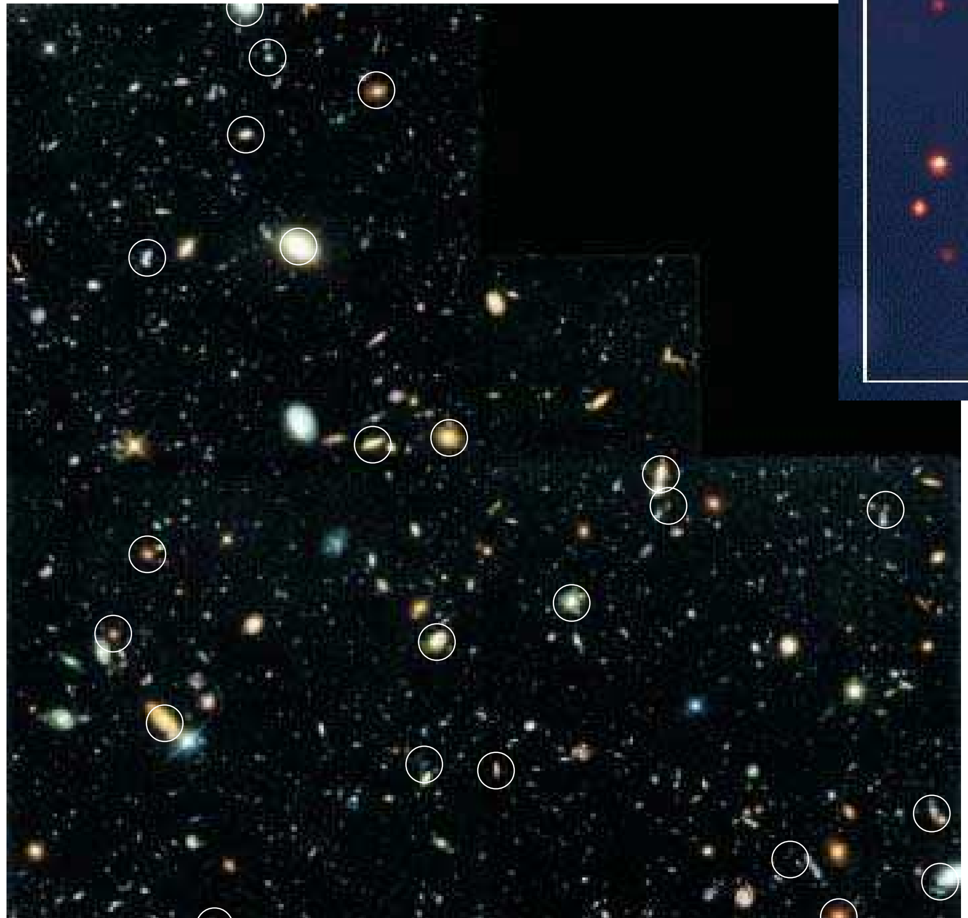
Diese Idee haben die Theoretiker aufgegriffen und in die Populations-Synthese integriert. Um die „richtige“ Mischung von Typ-1- und Typ-2-Kernen zu finden, berücksichtigten sie nun auch die zeitliche Entwicklung dieser Objekte. In einer 1995 publizierten Arbeit zeigten Andrea Comastri – damals am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching – und seine Kollegen, dass solche Modelle tatsächlich das Spektrum bis zu einer Energie von 300 000 Elektronenvolt reproduzieren können, wenn der größte Teil der von den Schwarzen Löchern emittierten Strahlung (80 bis 90 Prozent) von dichten Gas- und Staubwolken verdeckt wird. Daraus folgt aber, dass diese Energiemonster im frühen Universum rund hundertmal häufiger waren als heute. Demnach hatte fast jede Galaxie einst einen aktiven Kern. All diese Objekte hätte man also fast übersehen – wäre da nicht der kosmische Röntgen-Hintergrund, aus dem man ihr Vorhandensein erschließen könnte.

Eine Galaxie lüftet den Schleier

Auch der optische und der infrarote Hintergrund geben Rätsel auf. Der optische Hintergrund ist vermutlich die aufsummierte Emission von Sternen, rotverschoben durch die Expansion des Alls. Der infrarote Hintergrund hingegen zeigt das Spektrum von 10 bis 100 Kelvin warmem Staub, ebenfalls rotverschoben. Die von dem Staub abgestrahlte Energie müssen ursprünglich Sterne und aktive Galaxienkerne geliefert haben. Der infrarote Hintergrund ist jedoch genauso hell oder sogar heller als der optische Hintergrund. Das ist etwa so, als wäre der Mond – der das Sonnenlicht reflektiert – heller als die Sonne selbst. Dieses Paradoxon lässt sich erklären, wenn man wie beim Röntgen-Hintergrund annimmt, dass ein großer Teil der Strahlungsquellen von Gas und Staub verhüllt ist.

Um diese Überlegungen zu bestätigen, haben sich die Astronomen einem Spektralbereich zugewandt, der nicht von Gas und Staub beeinflusst wird: harte Röntgen-Strahlung. Die beiden großen Röntgen-Teleskope, die sich jetzt in der Erdumlaufbahn befinden – Chandra mit seiner exzellenten Auflösung und XMM-Newton mit seiner großen Sammelfläche – registrieren Strahlung mit Energien bis 10 000 Elektronenvolt. Damit erweitern sie den bisher mit Rosat untersuchten Energiebereich, allerdings kommen auch sie noch nicht an das Maximum des Röntgen-Hintergrunds bei 30 000 Elektronenvolt heran.

Ferne, staubverschleierte Galaxien, das fehlende Element zum Verständnis des kosmischen Hintergrunds, zeigen sich im berühmten Hubble Deep Field North (großes Bild) und im Chandra-Röntgen-Bild derselben Region (kleines Bild). Durch Vergleichen beider Aufnahmen können Astronomen die Objekte identifizieren.



BEIDE ABBILDUNGEN: NASA /PSU / G. GARMIRE, N. BRANDT ET AL.; NIEL BRANDT STELLTE FREUNDLICHERWEISE AKTUALISIERTE CHANDRA-DATEN ZUR VERFÜGUNG

Die bislang empfindlichsten Röntgen-Durchmusterungen haben die Forschungsgruppen von Giacconi, der jetzt an der Johns-Hopkins-Universität tätig ist, und Gordon P. Garmire von der Staats-Universität von Pennsylvania mit Chandra in zwei Himmelsarealen durchgeführt, die als „Chandra Deep Field South“ und „Hubble Deep Field North“ bekannt sind. Mit XMM-Newton beobachtete unsere Gruppe das bereits mit Rosat durchmusterte Feld im Lockman-Loch mit besonders langen Belichtungszeiten, also besonders „tief“, wie die Astronomen sagen (siehe kleines Bild auf

Seite 27). Mit diesen Beobachtungen ist es gelungen, die von den Modellen vorhergesagte Population von extrem stark absorbierten Röntgenquellen zu finden und etwa 80 Prozent des harten Röntgen-Hintergrunds in Einzelquellen aufzulösen.

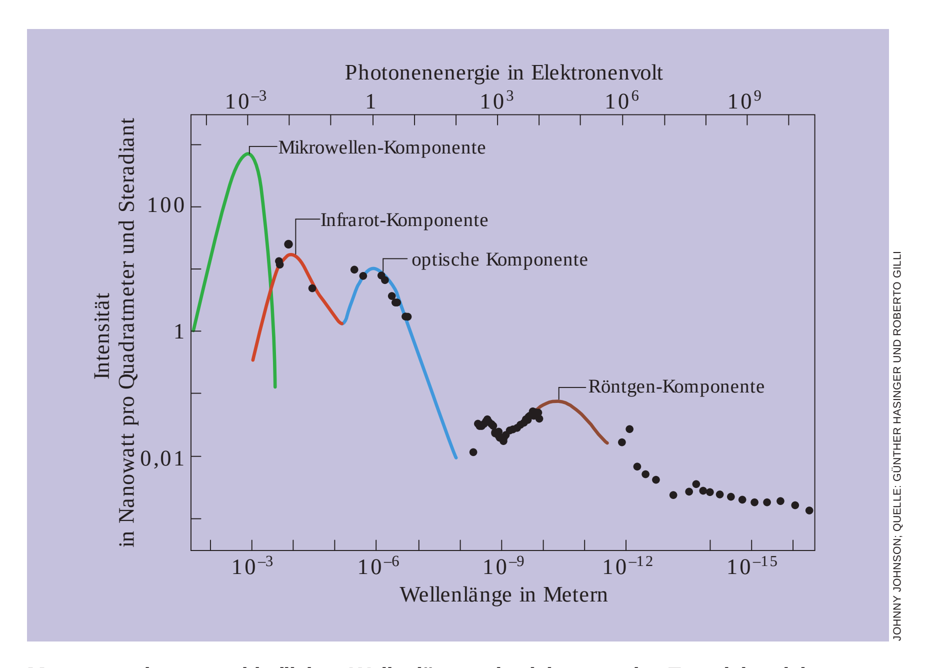
Die Suche nach den dazugehörigen optischen Quellen ist inzwischen in vollem Gange. Bislang erweisen sich die Quellen als eine Mischung aus aktiven Galaxienkernen der Typen 1 und 2, in guter Übereinstimmung mit den Modellen. Interessanterweise sind zehn Prozent der von Chandra entdeckten Röntgenquellen sehr lichtschwache Galaxien, vermutlich normale Sternsysteme ohne aktiven Kern. Ihre Röntgen-Strahlung stammt von Gas, das durch Sternentstehungsprozesse aufgeheizt ist.

Die beiden bisher verfolgten Strategien zur Untersuchung des Hintergrunds stellen die Astronomen noch nicht völlig zufrieden: Die Himmelsdurchmusterungen sind nur so genau, wie es der Stand der Technik gerade zulässt, und die Populations-Synthese ist ein höchst abstraktes Verfahren. Deshalb haben die Astronomen eine dritte Strategie ersonnen: Sie suchen das nahe Universum nach den Galaxien vom Typ 2 ab.

In der Galaxie NGC 6240 wurden sie fündig. Dieses Sternsystem ist sozusagen das Schwarze Schaf unserer kosmischen Nachbarschaft – ein Mitglied der exotischen Klasse der ultraleuchtkräftigen Infrarot-Galaxien, kurz ULIRGs. Derartige Sternsysteme senden den Löwenanteil ihrer Strahlung im fernen Infrarot aus, ein Indiz dafür, dass sie mit Staub geradezu gesättigt sind. Weil Staub aus schweren Elementen besteht, die in Sternen entstanden und anschließend im All verteilt wurden, folgt aus der riesigen Staubmenge auch eine hohe Sternentstehungsrate. Während unser Milchstraßensystem pro Jahr nur einige wenige neue Sterne hervorbringt, müssen es in NGC 6240 Hunderte sein. Aber NGC 6240 ist nicht nur von den Folgen dieser hohen Sternentstehungsrate gezeichnet: Die Galaxie verfügt auch über eines der gefräßigsten Schwarzen Löcher im nahen Universum.

Das Spektrum von NGC 6240 zeigt die gleichen Dellen und Buckel wie jenes des kosmischen Hintergrunds. Es enthält alle Zutaten, um daraus das richtige Hintergrundspektrum zu mischen – wir müssen sie nur in den richtigen Verhältnissen nehmen.

Aus den Beobachtungen von NGC 6240 haben die Astronomen gelernt, worauf die unerwartet hohe Anzahl von Typ-2-Kernen im frühen Universum zurückzuführen ist: Die aktiven Kerne dieses Typs wurden von Ausbrüchen gesteigerter Sternentstehung begleitet. Diese Sterne erzeugten den Staub, der die Schwarzen Löcher vor unseren Blicken verbirgt. Tatsächlich stoßen wir auf immer mehr Hinweise darauf, dass sowohl die Entstehung neuer Sterne, als auch die „Fütterung" Schwarzer Löcher in der Vergangenheit wesentlich häufiger war als heute. Beide Prozesse scheinen ihren Höhepunkt in der gleichen Ära der kosmischen Geschichte gehabt zu haben.



Messungen in unterschiedlichen Wellenlängen- beziehungsweise Energiebereichen des elektromagnetischen Spektrums ergeben mittlerweile ein recht deutliches Bild der kosmischen Hintergrundstrahlung. Es sind vier Komponenten zu unterscheiden, deren Emission auf unterschiedliche Prozesse zurückzuführen ist.

Gefräßige Schwarze Löcher als Geburtshelfer für Galaxien?

Warum aber treten aktive Galaxienkerne und Ausbrüche von Sternentstehung (so genannte *starbursts*) stets zusammen auf? Bislang wissen wir das nicht. Womöglich sind beide Prozesse auf dieselbe Ursache zurückzuführen – nämlich auf die Kollision von Galaxien. Derartige Zusammenstöße lassen Gas in die Zentralbereiche der Galaxien strömen, wo es entweder neue Sterne bildet oder in das Schwarze Loch fällt. Fast alle ULIRGs, auch NGC 6240, weisen Anzeichen für eine in der Vergangenheit liegende Kollision mit einer anderen Galaxie auf. Andererseits scheinen nicht alle aktiven Galaxienkerne mit solchen kosmischen Verkehrsunfällen in Zusammenhang zu stehen.

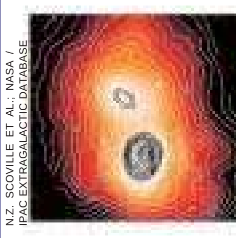
Viele Forscher glauben, der Zusammenhang zwischen aktiven Galaxienkernen und Starbursts könnte sogar noch enger sein: Vielleicht entzünden die Schwarzen Löcher selbst das Feuer der Sternentstehung – oder die Sterne helfen, Materie in die Schwarzen Löcher zu schleudern. Vielleicht bilden Sterne und extrem massereiche Schwarze Löcher eine Art Symbiose und sind unfähig, ohne die andere Art zu existieren. Ein solcher Zusammenhang könnte dann auch die beobachtete Korrelation zwischen den Eigenschaften der Galaxien und ihrer zentralen Schwarzen Löcher erklären.

Ermutigt durch die Untersuchung von NGC 6240 und ähnlichen Galaxien, haben die Astronomen versucht, mittels der Populations-Synthese nicht nur den Röntgen-, sondern auch den optischen und den infraroten Hintergrund mit aktiven Kernen und Starbursts zu erklären. Es scheint jedoch nicht ganz zu funktionieren. Mit Beobachtungen mit Chandra und dem SCUBA-Instrument, das im Spektralbereich zwischen dem Infraroten und der Radiostrahlung misst, konnte man keine großen Überlappungen feststellen. Omar Almaini vom Royal Observatory im schottischen Edinburgh und seine Kollegen haben abgeschätzt, dass bis zu 30 Prozent des kosmischen Infrarot-Hintergrunds von aktiven Kernen hervorgerufen werden. Hasinger und seine Kollegen haben Messungen mit XMM-Newton und dem Infrared Space Observatory kombiniert und fanden so eine untere Grenze von 15 Prozent für den Beitrag der aktiven Kerne zum Infrarot-Hintergrund. ▶

NGC 6240 – Produkt zweier kollidierender Galaxien



EUROPÄISCHE SÜDSTERNWARTE ESO



N.Z. SCOVILLE ET AL.; NASA / IPAC EXTRAGALACTIC DATABASE

Mit dem Satelliten Iras entdeckten Astronomen, dass das Sternsystem NGC 6240 im Infraroten auffällig hell leuchtet. Zurückzuführen ist diese hohe Infrarot-Leuchtkraft letztlich auf den Zusammenstoß zweier Galaxien. Während sich die Sterne beider Systeme relativ ungehindert durchmischen, prallen die Gaswolken heftig aufeinander. Dadurch werden diese Wolken instabil und kondensieren zu Sternen. Die im Vergleich zu unserem Milchstraßensystem etwa hundertfach höhere Sternbildungsrate lässt Unmengen von Staub entstehen, der Sternenlicht absorbiert und im Infraroten wieder abstrahlt. Das Foto oben – mit dem 2,2-Meter-Teleskop der Europäischen Südsternwarte in Chile aufgenommen – zeigt die irreguläre Form von NGC 6240. Eine Detailaufnahme des Hubble-Weltraumteleskops – hier mit einer Konturenkarte überlagert – weist die beiden Kerne der ursprünglichen Einzelgalaxien nach, die sich in einem Winkelabstand von 1,6 Bogensekunden befinden. In diesen Kernen verbergen sich vermutlich massereiche Schwarze Löcher.

In einer weiteren Arbeit vermuten Elese Archibald vom Joint Astronomy Center in Hilo auf Hawaii und ihre Mitautoren, dass sich in diesen Befunden die natürliche Abfolge der Galaxienentwicklung widerspiegelt. In ihrem Szenario bildet sich jede Galaxie zunächst um ein Schwarzes Loch relativ geringer Masse als „Keim". Während das Schwarze Loch anfangs vielleicht nur das Zehn- bis Tausendfache der Sonnenmasse aufweist, sendet die Galaxie hauptsächlich Sternenlicht aus. Das Schwarze Loch schwillt jedoch exponentiell an, weil es so viel Materie aufnimmt, wie es nur kann. Nach etwa 500 Millionen Jahren ist es zu einem Giganten mit einer Milliarde Sonnenmassen herangewachsen. Die einfallende Materie heizt sich nun so stark auf, dass sie die Sterne der Galaxie überstrahlt: Ein Quasar ist geboren. Nach einer Weile hat dieser Moloch alle Materie in seiner Umgebung aufgesogen und fällt dann gewissermaßen in den Schlaf – bis neues Gas in das Zentrum der Galaxie eindringt und ihn wieder aufweckt. Er kann sogar im Verlauf der Entwicklung mit anderen, ähnlich großen Schwarzen Löchern verschmelzen.

Das Rätsel der Dunkelheit

Manche unserer Kollegen glauben, dass uns noch immer ein paar wichtige Puzzleteile fehlen, um das kosmische Bild zu vervollständigen – zum Beispiel Galaxien, deren Sterne so dünn im Raum verteilt sind, dass wir sie übersehen, oder Sterne, die vor den ersten Galaxien entstanden sind (siehe „Die ersten Sterne im Universum", Spektrum der Wissenschaft 2/2002, S. 26). Für das hochenergetische Ende des kosmischen Hintergrunds werden auch andere Quellen als die aktiven Galaxienkerne vermutet. So könnte zum Beispiel ein großer Teil des Gamma-Hintergrunds von Elektronen stammen, die während der Entstehung der großräumigen Strukturen im Kosmos auf enorme Geschwindigkeiten beschleunigt wurden.

Weitere, intensive Durchmusterungen des Himmels sind nötig, um die diversen Prozesse zu entwirren, die zum Hintergrund beitragen. Künftige Observatorien – wie die Space Infrared Telescope Facility, das Herschel Far-Infrared Telescope, das Next Generation Space Telescope und das Atacama Large Millimeter Array – werden jene Objekte weiter studieren, die mit den Röntgen-Satelliten entdeckt worden sind. Besonders wichtig könnte die Röntgen-Spektroskopie mit der geplanten Xeus-Mission werden – so könnten wir erstmals Rotverschiebungen allein aus Röntgen-Beobachtungen gewinnen, insbesondere bei Objekten, die so stark von Staub verdeckt sind, dass sie im optischen Bereich gar nicht sichtbar sind. All diese künftigen Beobachtungen und Messungen werden vielleicht eines Tages den noch mysteriösen Zusammenhang zwischen den Galaxien und ihrem zentralen Schwarzen Loch erhellen, uns zeigen, was von beiden zuerst entstanden ist, und beschreiben, wie die Sternentstehung mit der Aktivität des Schwarzen Lochs zusammenhängt.

Der kosmische Hintergrund ist mittlerweile ein klassisches Beispiel dafür, dass nichts in der Astronomie so ist, wie es zunächst scheint. Allein die Anwesenheit des Hintergrunds zeigt uns schon, dass der Nachthimmel keineswegs, wie man glauben könnte, völlig dunkel ist. In der Vergangenheit war die Dunkelheit des Nachthimmels einfach vorausgesetzt worden – und die Forscher hatten überlegt, warum das so ist. Denn in einem unendlichen Universum müsste jeder Sehstrahl irgendwann auf einen leuchtenden Stern treffen. Das heißt: Egal, in welche Richtung wir blicken, sollten wir einen Stern wahrnehmen können. Die Helligkeit der Sterne nimmt zwar mit ihrer Entfernung ab, dafür sollte aber ihre Anzahl entsprechend zunehmen. Beide Effekte kompensieren sich genau, sodass der Nachthimmel eigentlich überall so hell sein sollte wie die Sonnenscheibe – Tag und Nacht wären ununterscheidbar.

Dieses Rätsel, bekannt als das Olbers'sche Paradoxon, löste der Schriftsteller Edgar Allan Poe 1848. In seinem Prosagedicht „Eureka" argumentierte er, die Sterne hätten nicht genug Zeit gehabt, das Universum mit ihrem Licht zu erfüllen. Die Dunkelheit des Nachthimmels berichtet uns also von der zeitlichen Endlichkeit des Kosmos – das Universum muss einen Anfang gehabt haben. Diese Vermutung ist nicht nur bisher nicht widerlegt worden, sie hat sich sogar als höchst bedeutsam bei der Formulierung der Urknall-Theorie erwiesen.

Trotzdem ist die Nacht keineswegs pechschwarz – der Himmel glimmt im Licht des kosmischen Hintergrunds. Wenngleich wir große Fortschritte dabei gemacht haben, diesen Hintergrund zu erklären, bleibt noch viel zu tun. Während die Denker des 19. Jahrhunderts darüber grübelten, warum der Nachthimmel dunkel ist, müssen die heutigen Kosmologen herausfinden, warum er nicht vollständig dunkel ist. ■





__Günther Hasinger__ ist Direktor am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching. Zuvor leitete er das Astrophysikalische Institut in Potsdam, wo __Roberto Gilli__ einen Teil seiner Doktorarbeit anfertigte. Während Hasinger in erster Linie Beobachter ist, kümmert sich Gilli – jetzt an der Arcetri-Sternwarte in Florenz tätig – hauptsächlich um Modellrechnungen.

Die Ursprache der Alteuropäer

In vielen europäischen Fluss- und Ortsnamen stecken mit dem Baskischen verwandte Wörter. Die Namen wurden bald nach der letzten Eiszeit vergeben. In ganz Europa sind die Menschen noch heute mit den Basken, einem vorindogermanischen Volk, eng verwandt. In den folgenden Beiträgen berichten Linguisten und Genetiker über Befunde zu dieser Theorie.

Vaskonisch war die Ursprache des Kontinents

Von Elisabeth Hamel und Theo Vennemann

Ebersberg liegt malerisch im Alpenvorland über einem kleinen Fluss, der Ebrach. Hinter der kleinen Kreisstadt in Oberbayern erstreckt sich noch heute ein weites Waldgebiet. Dass der Ort seinen Namen wegen des Wildreichtums erhielt, erscheint einleuchtend. So führt er denn auch den Eber im Wappen.

Doch der heutige Sinn des Ortsnamens täuscht. Die Bezeichnung stammt ursprünglich nicht aus dem Mittelalter, und auch nicht aus keltischer Zeit, sondern vermutlich von den Vaskonen, Menschen, die den Landstrich bald nach der letzten Eiszeit von Südfrankreich aus besiedelten.

Viele Namen von Siedlungen, Flüssen, Bergen, Tälern und Landschaften in Europa dürften auf vorindogermanische Sprachen zurückgehen. Nach neueren Erkenntnissen finden sich dabei insbesondere Bezüge zur baskischen Sprache. Das spricht dafür, dass mit den heutigen Basken verwandte Völker einst beinahe ganz Europa bewohnten. Das waren eben die Vaskonen – nach der lateinischen Bezeichnung der Basken in der Antike.

Gleiches haben jetzt von den linguistischen Forschungen völlig unabhängige genetische Studien ergeben (siehe den Beitrag Seite 41). Danach sind die heutigen Basken keineswegs biologisch eine eigene, mit den übrigen Europäern wenig verwandte Randgruppe. Im Gegenteil: Ihr Erbgut findet sich in verblüffendem Grade in der gesamten europäischen Bevölkerung. Es ist kaum übertrieben zu sagen: Wir Europäer sind alle Basken.

Diese Befunde widersprechen früheren Auffassungen über die Besiedlungsmuster Europas der letzten zehn- bis fünfzehntausend Jahre – also seit der letzten Eiszeit (deren letzter Höhepunkt vor 20 000 Jahren war). Es gab viele Versuche, zu erklären, woher die heutigen Europäer und ihre Sprachen stammen.

Die Basken nahmen dabei immer eine Sonderstellung ein. Ihre Sprache ist nicht indoeuropäisch, und es gab die verschiedensten Vermutungen über ihre Herkunft, so auch darüber, ob sie alteingesessen sind oder – über Land oder auf dem Seeweg – eingewandert waren. Die Wissenschaftler sahen keine Verwandtschaft mit den übrigen Europäern. Denn diese sollten nach bisheriger Ansicht überwiegend Nachfahren von erst in den letzten zehntausend Jahren zugewanderten Menschengruppen sein, die aus Zentralasien oder dem Nahen Osten stammten und Landwirtschaft und indoeuropäische Sprachen mitbrachten. Man glaubte, die Indoeuropäer hätten durch ihre überlegene Zahl die eingesessene Bevölkerung verdrängt oder absorbiert.

Sprachforscher erkannten schon im 19. Jahrhundert, dass die Namen vieler unserer Flüsse, Bäche und Seen sehr alt sein müssen. Sie stellten überdies bereits vor langem fest, dass Urbevölkerungen die geographischen Gegebenheiten in der Regel schlicht topographisch als ‚Fluss', ‚Berg', ‚Wasser' bezeichnen, dass die Namen also ursprünglich nichts



MICHEL PROUX UND HENRI BIDAULT

In der späten Eiszeit bildete sich in Südwesteuropa die Kultur des Magdalénien aus – von der dieses Diorama einen Eindruck gibt. Die Vertreter dieser Kultur trugen nach der Eiszeit ihre Sprache nach ganz Europa. Reste davon sind bis heute rund um uns her anzutreffen.

anderes bedeuteten als das Bezeichnete selbst, und dass spätere Populationen diese Bezeichnungen übernahmen, ohne aber den Sinn zu verstehen. Im Einzelfall ist für Europa allerdings oft schwer erkennbar, aus welchen alten Sprachschichten die heutigen Benennungen in ihrem Kern stammen.

Siedlungsnamen hingegen gelten oft als wesentlich jünger. Viele entstanden nach Ansicht mancher Forscher erst in historischer Zeit, den angeführten Quellen zufolge vielfach erst im Mittelalter.

Für Namen von Flüssen und anderen geographischen Gegebenheiten gilt die Regel, dass sie umso älter sind, je häufiger man sie antrifft. Europaweit enthalten auffallend viele Bezeichnungen gerade von Gewässern einen ähnlichen Wortkern. So gibt es die *al-/alm*-Namen, beispielsweise in *Aller*, *Alm* oder auch *Elz*, die früher *Alantia* hieß. Eine andere Gruppe sind die *var-/ver*-Namen, die sich beispielsweise in *Werre* oder *Warne* finden. Ebenso zahlreich sind *sal-/salm*-Namen, wozu neben vielen anderen die *Saale* zählt. Nach neueren Forschungen gibt es auch eine große Gruppe von *is-/eis*-Namen wie *Isar* und *Eisack* und *ur-/aur*-Namen wie *Urach* und *Aurach*.

Dasselbe gilt aber auch für viele Ortsnamen. Das deutsche Postleitzahlenbuch verzeichnet sieben Gemeinden mit dem Namen *Ebersberg*. Neun Orte heißen *Ebersdorf*, 16 *Ebersbach*. Insgesamt 80 Orte sind angeführt, die mit dem Element *eber* beginnen, von *Eberau* bis *Ebertsheim*.

Lebende Sprachfossilien

Auch in Frankreich liegen Orte mit dem entsprechenden Namenelement zu Dutzenden. Bedingt durch den anderen Sprachraum klingen sie für uns zwar etwas anders. Doch *Ebréon*, *Ibarolle*, *Evrune*, *Ivry*, *Ivors*, *Averdon*, *Avricourt*, *Avrolle*, *Yvré* und viele mehr lassen sich, soweit wir dies bisher untersucht haben, auf dieselbe Sprachwurzel zurückführen. Allerdings würde kein Franzose diese Städtenamen mit dem männlichen Wildschwein verbinden. Denn auf Französisch heißt der ‚Eber' *sanglier*.

Dass Siedlungsnamen nördlich der Alpen quer durch Europa bis nach Großbritannien und Südskandinavien ein überraschend einheitliches Gepräge aufweisen, war bereits Mitte des letzten Jahrhunderts vor allem dem Tübinger Indogermanisten Hans Krahe (1898–1965) aufgefallen. Er hielt diese Namen für „Fossilien ... einer älteren und oft längst vergangenen Zeit" und suchte ihre Wurzeln in alten indoeuropäischen Sprachen.

Diese Herleitungen waren allerdings oft nicht zufrieden stellend. Außerdem traten die Indogermanen – oder nach internationaler Nomenklatur Indoeuropäer – erst relativ spät auf. Nach einer Theorie des englischen Archäologen Colin Renfrew waren sie mit den ersten europäischen Ackerbauern identisch, mit denen in Europa die Jungsteinzeit – das Neolithikum – einsetzte.

Wenn man schon annimmt, dass Gewässer- und sonstige geographische Namen von früheren, verschwundenen Bevölkerungen stammen, sollte man für Europa auch die frühesten Siedler in Betracht ziehen, die gleich nach der letzten ▶

(Seiten 34, 35 und 36: Anzeige und Beihefter)

Beihefter

Beihefter

Eiszeit auftauchten. Die Ackerbauern begannen erst vor circa 7000 Jahren auf dem Kontinent nach Mitteleuropa vorzudringen. Lange davor wurden aber die in der letzten Eiszeit völlig unwirtlichen Gebiete wieder besiedelt. So ist die früheste den Archäologen bekannte dauerhafte Besiedlung nach dem Höhepunkt der letzten Vereisung im Raum Freiburg, der so genannten Toskana Deutschlands, über 18000 Jahre alt. Sicherlich hatten schon diese Menschengruppen, die Alteuropäer, die Flüsse und Örtlichkeiten ihrer Umgebung benannt. Man darf deshalb nicht ausschließen, dass manche der Eigennamen bereits auf diese frühe Phase zurückgehen. Noch in unserer Zeit ließ sich in vielen Fällen beobachten, wie zugewanderte Menschengruppen in verschiedensten Regionen der Welt geographische Bezeichnungen der Urbevölkerung übernahmen und sie allenfalls entsprechend ihrer eigenen Sprache etwas abwandelten, ohne allerdings den Sinn des Wortes zu verstehen.

Zu der Theorie, die Indoeuropäer hätten die alten europäischen Gewässernamen geprägt, passt auch nicht, dass in Spanien einige Bäche und Flüsse Namen mit den gleichen Wortelementen tragen wie in Europa nördlich der Alpen. Denn so weit nach Südwesten gelangten die Indoeuropäer erst im letzten Jahrtau- ▶

Alte Gewässernamen in Europa

Zeugen unserer Sprach-Vergangenheit

Als „ungeschliffene Juwele" charakterisierte der deutsche Germanist und Amerikanist Ernst Förstemann (1822–1906) alte Flussnamen, als er Mitte des 19. Jahrhunderts über geographische Bezeichnungen forschte.

In Nordspanien mündet der Ebro ins Mittelmeer. Die Römer nannten den Fluss *Iberus*. Er fließt durch ein Gebiet, in dem die Bevölkerung noch zur Römerzeit Baskisch sprach. Sprachforscher nehmen an, dass der Name aus dem Baskischen kommt. Denn das baskische Wort *ibai* bedeutet ‚Fluss', und *ibara* heißt ‚das Tal, die Flussmündung'.

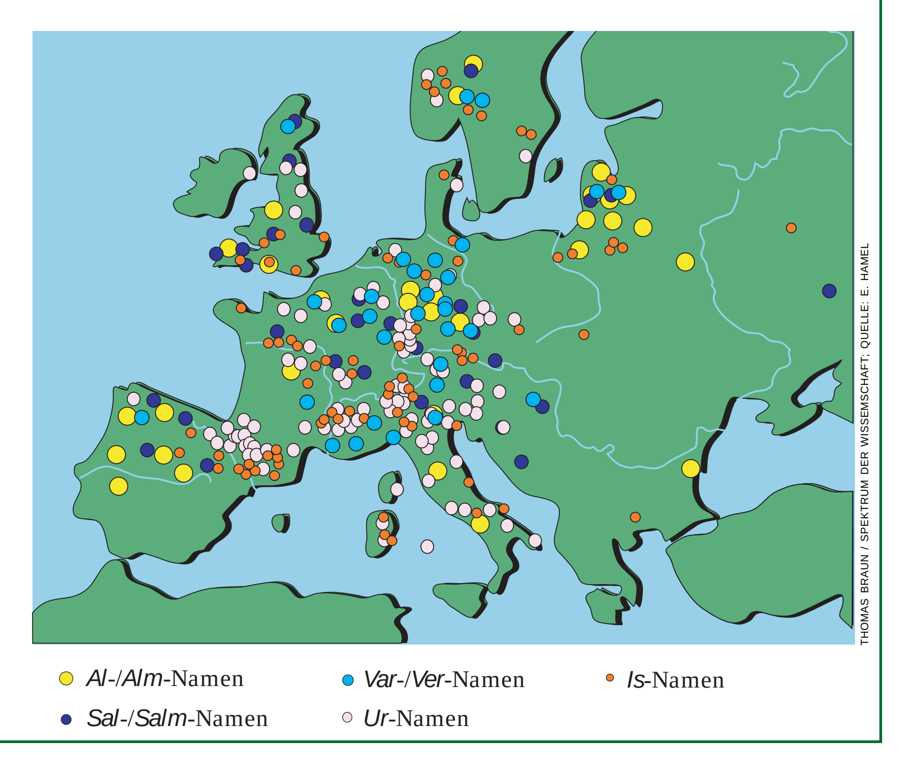
Wieso aber klingen die Namen einer Anzahl anderer europäischer Flüsse ähnlich? In Montenegro und Serbien fließt der Ibar zur Westlichen Morava, in Süddeutschland gibt es gleich zwei Flüsse namens *Ebrach* und mehrere Eberbäche, bei Oberaula in Hessen eine *Ibra*. Im Namen der österreichischen *Ybbs* (älter *Ibisa*), die bei der Stadt Ybbs in die Donau fließt, steckt vermutlich eine weitere Variante von Baskisch *ibai* ‚Fluss', nämlich *ibaso*, das ebenfalls ‚Fluss' bedeutet.

Ein großer Teil der Flüsse in Europa trägt Namen, die auf wenige immer gleiche Wörter oder Wortbausteine zurückzugehen scheinen. Eines davon ist das Element *is* (auch als *eis* wiederzufinden), das in mehr als 200 Gewässernamen von Norwegen bis Italien, von Spanien bis weit nach Russland hinein, von Großbritannien bis in den Balkan vorkommt (Karte): etwa als *Iselfjorden* in Norwegen, *Isa* in Italien, *Isainka* in Russland, oder als *Ieslà* in Litauen, *Jizera* in Tschechien und *Ijssel* in den Niederlanden. Das baskische Element *iz* (mit scharfem *s* gesprochen) bedeutet ‚Wasser, Gewässer'.

Ähnlich weit gestreut sind Gewässernamen mit den Bausteinen *ur* (*aur*), *var* (*ver*), *sal* (*salm*) oder *al* (*alm*). *Ur* bedeutet ‚Wasser', *ura* ‚das Gewässer, der Bach'. Für *al* und *sal* sind ähnliche Bedeutungen postuliert worden. Zusammen zeigen sie vermutlich die einstige Verbreitung des Vaskonischen.

Einige Beispiele unter vielen für *ur*-Namen sind: *Urula* (Norwegen); *Irwell* (Großbritannien); *Ourthe* (Belgien); *Auerbach*, *Urbach*, *Urach*, *Aurach* (Deutschland); *Irrsee* (Österreich); *Aroffe* – früher *Urofia* –, *Huriel* (Frankreich); *Urura*, *Urola* (Spanien); *Urwis* (Polen); *Ura* (Russland). Unter die *var*-Namen fallen in Deutschland zum Beispiel: *Warne*, *Werre*, *Warmenau*, *Warme Aue*; unter die *sal*-Namen: *Saale*, *Sale*, *Selz* (*Salusia*), *Selke* (*Salica*); unter die *al*-Namen: *Aller*, *Alm*, *Alme* zweimal (*Almana* und *Almara*), *Ahla*, *Elte* (*Alantia*), *Elz*. Auf der iberischen Halbinsel gibt es Flüsse namens *Alba*, *Alenza*, *Almar*, *Almanza*, *Almonte*, *Almantes*. Die Listen ließen sich fortsetzen.

Eine Anzahl von Siedlungsnamen dürfte sich von diesen und anderen alteuropäischen Wortbausteinen herleiten. Das heißt, sie bezogen sich anscheinend ursprünglich auf ein schon benanntes Gewässer beziehungsweise eine andere natürliche Örtlichkeit. So waren viele der alten geographischen Namen anfangs einfach Naturnamen – Alltagswörter der alten Europäer für die Topographie.



Hier sind Gewässer markiert, die in ihrem Namen eines der fünf angeführten Wortelemente enthalten.



MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON ALOIS FREUNDL; WAPPEN: STADT EBERSBERG

Der Ort *Ebersberg* in Oberbayern hieß im Mittelalter *Eberesperch* oder auch *Eparesperc.* Falls der Namenskern *eber* sich, wie vermutet, von einer alteuropäischen, mit dem Baskischen verwandten Sprache herleitet und ursprünglich *ibara* lautete, würde *Ebersberg* nicht nach dem männlichen Wildschwein heißen, sondern ‚Berg am Fluss' bedeuten. Tatsächlich fließt nah bei der Stadt die Ebrach.

send vor Christus. Einige dieser iberischen Gewässernamen leiteten Linguisten schon früher von mit dem Baskischen verwandten Wörtern her. Nach der hier vorgestellten Theorie sind auch Gewässernamen im übrigen Europa ähnlich zu deuten. Im baskischen Wortschatz finden sich nämlich die charakteristischen Wortelemente – *is*, *ur* und *ibar* –, die in vielen Namen europäischer Gewässer stecken. Sie tragen darin alle eine Bedeutung in Zusammenhang mit Wasser oder natürlichen Gewässern (siehe Kasten Seite 37).

Einen weiteren Hinweis auf das Baskische geben die Vokale in diesen Namen. Fast die Hälfte unserer alten Gewässernamen beginnt mit einem Vokal. Am häufigsten ist dies (teilweise nur noch in einer früheren Namenform) ein *a*, und die Namen enthalten auch sonst sehr oft den Vokal *a*. Auch *i* und *u* kommen in Gewässernamen zahlreich vor. Dies alles ist für das Alt-Indoeuropäische untypisch. In ihm waren Vokale am Wortbeginn selten, und die häufigsten Vokale waren *e* und *o*. Im Baskischen fängt dagegen etwa ein Drittel der Wörter mit einem *a* an, und viele enthalten im Innern ein oder mehrere *a*. Auch *i* und *u* am Wortbeginn sind häufig.

In den letzten Jahren wurde am Münchner Lehrstuhl für Germanistische und Theoretische Linguistik auf die gleiche Weise die Herkunft von Siedlungsnamen untersucht – und auch da ist die Beziehung zu Wörtern oder Wortelementen des Baskischen oft leicht herzustellen. Soweit dies bisher überprüft ist, stoßen wir immer wieder, besonders bei Orten in günstiger Lage, für die darum ein hohes Alter angenommen werden kann, auf baskische Vokabeln für natürliche geographische Gegebenheiten, also auf topographische Wörter.

Oft, aber nicht immer, steckt in den Namen der Gewässer und der Landschaftsstrukturen ein altes Wort, das ‚Wasser, Gewässer' bedeutet beziehungsweise die Landschaftsform bezeichnet. Kommen wir auf das Beispiel der *eber*-Namen zurück. Einer der französischen *eber*-Orte, Ibarolle, liegt in einem Pyrenäental. Weil das baskische Wort *ibar* ‚Tal, Flussmündung' bedeutet, gaben Linguisten diesem Ortsnamen schon früher die gleiche Bedeutung.

Die *Ebrach*, an der das oberbayrische Ebersberg liegt, heißt in diesem Sinne schlicht ‚Fluss' – genau genommen ‚Fluss-Fluss', denn das spätere Anhängsel *ach* ist einfach das süddeutsche Wort ‚Fluss' (es ist mit dem lateinischen Wort *aqua* ‚Wasser' verwandt). Nach unserer Auffassung heißt die Ansiedlung nach dem Fluss (siehe Bild oben). Viele der *eber*-Orte wurden entsprechend, soweit wir dies bisher untersucht haben, schon vor Jahrtausenden von einer vaskonischsprachigen Bevölkerung benannt. Dabei wurde die Bezeichnung für das Gewässer oder die Landschaft in den Namen integriert.

Jahrtausende später wandelten Menschen mit einer anderen Sprache den Namen in einer Weise um, dass er für sie einen Sinn bekam: Aus baskisch *ibar*, genauer gesagt aus dem verwandten Wort einer vaskonischen Sprache, wurde dann im Deutschen schließlich der Namensbestandteil *Eber* der Fluss- und Siedlungsnamen.

In gleicher Weise lassen sich viele andere häufige Ortsnamen durch einen Bezug zu einem Gewässer erklären. Da sind beispielsweise die vielen Bezeichnungen, die offenbar das vaskonische Element *is* enthalten. Im Baskischen bedeutet diese Silbe, die in zusammengesetzten Wörtern vorkommt, ‚Wasser oder Gewässer'. In Bayern gibt es etwa die Orte *Ismaning* (früher *Isamaninga*), *Isen* (an der Isen, früher *Isana*) und *Eisolzried* (früher *Isoltesried*), in der Schweiz die Orte *Isen* und *Isel*.

Wir haben jedoch auch Namen gefunden, die sich nicht auf einen Naturnamen für ein Gewässer beziehen. Die Basken haben das Wort *aran*; es bedeutet ‚Tal'. Namengebungen mit diesem Wortelement sind über ganz Europa verteilt. In Südengland etwa liegt die Stadt Arundel, in Norwegen – und auch in Schweden – ein Arendal. In Deutschland gibt es einige Dutzend Orte wie Arnach, Arnsberg, Arnstern, Arensburg, Ahrensburg. Auch Ohrenbach im Odenwald, das früher *Aranbach* hieß, rechnet hierzu, ebenso das oberpfälzische Mohrenstein, früher *Marnstein* (*am Arnstein*).

Manche dieser Orte sollen laut volkstümlicher Überlieferung nach Personen benannt sein, etwa einem *Arno*. Nun kommt dies allerdings eher selten vor, denn in der Regel erhielten Menschen ihren Namen nach ihrem Herkunftsort und nicht umgekehrt. Andere *Arn*-Orte heißen angeblich nach dem *Aar*, dem ‚Adler' (althochdeutsch *arn*).

Müchen nicht bei Mönchen

Soweit bisher überprüft, liegen die *Arn*-Orte stets in ausgeprägter Tallage, was zu dem baskischen Wort *aran* gut passt. Auch das ostholsteinische Ahrensfelde (bei Ahrensburg) liegt am Rande eines Tunneltals, das heute unter Naturschutz steht. Wieder ist die einfachste Annahme jene, dass diese Ansiedlungen einst topographisch benannt wurden.

Auch andere Ortsnamen sind vermutlich viel älter, als die volksetymologischen Deutungen annehmen. Als in diesem Zusammenhang gar Zweifel an der Deutung von *München* als ‚bei den Mönchen' angemeldet wurden, gab es nicht nur bei den Frommen der Stadt Unmut. Wahrscheinlich ist München aber nicht erst eine christliche Gründung, sondern hieß früher vermutlich *Munica*, was ‚der Ort auf der Uferterrasse' bedeu-

tet. Das baskische Wort *mun* (in älterer Form *bun*) meint ‚Ufer, Böschung, Bodenerhebung'. Das Ur-München liegt auf einem Hügel an der Isar, dem Petersbergl. Die älteste Form des namengebenden Elements *bun* könnte im griechischen Wort *bounó* ‚Berg', altgriechisch *bounós* ‚Hügel' fortleben, das nach Ansicht der Fachleute ein Lehnwort ist.

All dies besagt nach der hier vorgestellten Theorie, dass die Alteuropäer, die diese Namen vergaben, mit dem Baskischen verwandte Sprachen hatten. Es müssen Menschen gewesen sein, welche die Eiszeit in einem der größeren Refugien in Südeuropa überstanden und dabei eine gemeinsame Sprache entwickelt hatten. Das einzige geeignete Gebiet Westeuropas lag in Südwestfrankreich/ Nordwestspanien. Dort wird in einem typischen Rückzugsgebiet, dem pyrenäischen Baskenland, noch heute Baskisch gesprochen.

Die vaskonischen Alteuropäer hinterließen übrigens nicht nur geographische Bezeichnungen. In mehreren Regionen existieren noch heute Spuren ihrer alten Zählweise. Die Indoeuropäer brachten die Zehnerzählweise mit. Doch die Basken zählen noch heute in Zwanzigerschritten, also: ‚zwanzig', ‚zwanzig und zehn' (für ‚dreißig'), ‚zwei mal zwanzig' (für ‚vierzig'), ‚zwei mal zwanzig und zehn', ‚drei mal zwanzig' und so weiter. Die Kelten, ein indoeuropäisches Volk, dürften ihre Zwanzigerzählweise von den Vaskonen übernommen haben.

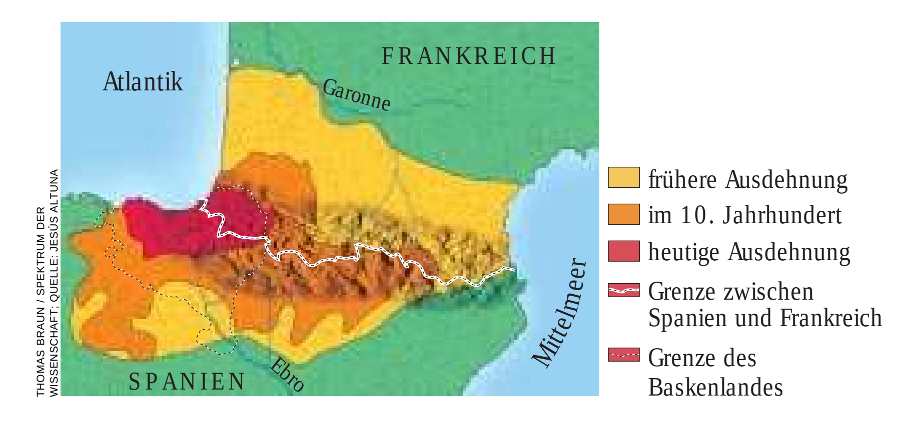

SCHAPOWALOW / NACIVET

Hoch über den Ebro erhebt sich heute die Wallfahrtskirche Nuestra Señora del Pilar von Saragossa. Der nordspanische Fluss erhielt seinen Namen vor Jahrtausenden von einer urbaskisch sprechenden Bevölkerung.

Im Altfranzösischen wurde diese Methode – das Vigesimalsystem – durchgehend bis 360 angewendet, wovon Reste sich bis heute erhalten haben: *quatre-vingts* ‚vier-zwanzig' für 80, *quatre-vingt-dix* ‚vier-zwanzig-zehn' für 90. Auch das Dänische bewahrt diese alte Zählweise.

Auf ganz andere Weise nähert sich die Genetik der Frage der nacheiszeitlichen Besiedlung Europas – und kommt zu verblüffend ähnlichen Schlussfolgerungen. Molekulargenetiker fanden Hinweise, dass der größte Teil der heutigen Europäer Vorfahren hat, die schon während der Eiszeit in Europa lebten. Die Forscher fanden auch, ähnlich wie auf Grund der sprachlichen Befunde schon früher vermutet, dass die Wiederbesiedlung des westlichen Europas nach der Eiszeit hauptsächlich von dem eiszeitlichen Refugium im Norden der iberischen Halbinsel und Südfrankreich ausging (siehe Beitrag Seite 41).

Noch in historischer Zeit hatten die Basken, von den Römern Vascones genannt, ein mehrfach so großes Verbreitungsgebiet wie heute (siehe Karte unten). Hiervon zeugt unter anderem noch die südfranzösische Provinz Gascogne (früher *Vasconia*). Dennoch galten die Basken bisher als ein Reliktvolk, das sich nur wegen der Randlage seines Lebensraumes gegen die Indoeuropäer hat behaupten können. Genetisch unterscheiden sich die Basken tatsächlich im Grunde nicht von anderen europäischen Populationen. Der österreichische Anthropologe und Ethnologe Felix von Lu- ▶



Ausdehnung des Baskischen:
Baskisch wird heute nur noch in einem kleinen Gebiet im Norden der iberischen Halbinsel gesprochen. In römischer Zeit war die nicht-indogermanische Sprache aber viel weiter verbreitet. Wahrscheinlich redeten die Menschen nach der Eiszeit in weiten Teilen Europas in mit dem Baskischen verwandten Idiomen.


MICHEL PROUX UND HENRI BIDAULT


JEAN-RENÉ CHATILLON

Die Jäger des Magdalénien, der höchsten altsteinzeitlichen Kulturstufe in West- und Mitteleuropa, hinterließen außer Kunstwerken und Geräten aus Rengeweih und Mammutelfenbein auch eine Anzahl von Sprachelementen.

schan (1854–1924), der die Einteilung der Menschheit in Rassen verschiedener Abstammung ablehnte, schrieb 1922: „Ich wäre niemals imstande gewesen, auch nur einen einzigen von ihnen an sich als Basken zu erkennen."

Möglicherweise bildete sich die vaskonische Sprache erst bei den Menschengruppen heraus, die in Südwesteuropa als einem der letzten bewohnbaren Gebiete nördlich der Pyrenäen und der Alpen die Eiszeit überstanden. Vor 18000 Jahren, als die Gletscher nach dem Höhepunkt der letzten Vereisung abzuschmelzen begannen, drangen diese Menschen allmählich wieder nach Norden und nach Mitteleuropa vor. Diese Gebiete waren nahezu menschenleer gewesen, und die Neuankömmlinge benannten Flüsse, Berge, Täler und Sümpfe in ihrer Sprache mit Naturnamen. Mit sich brachten sie die Kultur des Magdalénien, die sie im Osten bis nach Mähren und Thüringen trugen. In Norddeutschland entwickelte sich daraus eine Rentierjägerkultur, die bis nach Pommern und auf die britischen Inseln gelangte. Noch heute lassen zahlreiche osteuropäische Gewässernamen erkennen, dass sie wahrscheinlich auf früh abgespaltene Varianten des Vaskonischen zurückgehen.

Auch in der deutschen Alltagssprache hat das Vaskonische Spuren hinterlassen. *Land* ist schon nach älterer Auffassung ein vaskonisches Lehnwort, auch *Harn*, *Schenkel*, *Garbe*, *Mure*, *Anger*, *Haken*, *Krapfen* (‚Kralle, Haken'), *Latte*/*Laden*, *Eisvogel* (älter *Is-arn*) und *Senne* könnten dazu gehören. Teils kamen diese Wörter aber über das Lateinische. *Käse* (zu Baskisch *gazi* ‚salzig') kam aus dem Lateinischen zu uns. Lateinisch *mons* ‚Berg' und *grandis* ‚groß' dürften vaskonische Lehnwörter sein. Auch die alte Regel, immer die erste Silbe eines Wortes zu betonen, könnte auf das Vaskonische zurückgehen; sie hat alle – und nur die – Sprachen getroffen, die aus dem Osten nach Westen gelangten: das Germanische, das Keltische, das älteste Latein und das nichtindoeuropäische Etruskische.

Weniger mag es verwundern, dass sich baskische Elemente in Nordafrika finden. Vielleicht überquerten Menschen schon in sehr früher Zeit die Straße von Gibraltar in beiden Richtungen; während der Eiszeit war die Meerenge viel schmaler als heute. In den letzten vierzigtausend Jahren traten in den Kulturen Südwesteuropas und Nordafrikas Parallelen auf.

In Marokko gibt es Orte und Flüsse mit offenbar vaskonischen Namen. In einem Berberdialekt, dem Tachelhit, zählt man wie im Baskischen im Zwanzigersystem, und viele Geschichten der Berber ähneln Grimms Märchen. Die ungewöhnlich helle Haut und die mitunter blauen Augen mancher Berberstämme könnten auf Verwandtschaft mit den Vaskonen beruhen. Die genetischen Studien weisen in Algerien immerhin zu acht Prozent typisch europäische Linien nach. Umgekehrt existieren in Spanien berberische Erblinien.

Dennoch sind die vaskonischen Sprachen nicht die einzigen außerindoeuropäischen, die in Europa Spuren hinterlassen haben. In Westeuropa entdecken Sprachforscher seit über hundert Jahren Einflüsse aus hamito-semitischen Sprachen. Demnach fuhren in vorgeschichtlicher Zeit Menschen dieser Sprachen die Meeresküsten entlang nach Norden. Die Besiedlungsgeschichte Europas hält noch viele Überraschungen bereit. ■

Drei Viertel unserer Gene stammen von den Urbasken

Von Elisabeth Hamel und Peter Forster

Vor etwa 20 Jahren begann der neuseeländische Molekulargenetiker Allan Wilson während seiner Tätigkeit an der Universität von Kalifornien in Berkeley damit, einen variablen Abschnitt der Erbsubstanz DNA von lebenden Menschen zu vergleichen, um anhand dessen den vorgeschichtlichen Stammbaum dieses Erbmoleküls aufzustellen. Populär geworden ist vor allem die hieraus abgeleitete Vorstellung, dass der moderne Mensch, der *Homo sapiens*, vor schätzungsweise 130 000 Jahren in Afrika entstand und sich von dort aus über den Nahen Osten nach Asien, Europa und in die übrige Welt ausbreitete, wo er frühere Menschenformen verdrängte, etwa in Europa die Neandertaler (siehe auch Spektrum der Wissenschaft 12/85, Seite 160 und 6/92, Seite 72).

Aber auch zur menschlichen Besiedlung einzelner Regionen der Welt liefern solche Stammbaumanalysen nun allmählich recht genaue Bilder. Das gilt gleichermaßen für die Bevölkerung Europas, deren Geschichte nach der letzten Eiszeit sich seit einigen Jahren unerwartet neu darstellt.

Mehrere Forscherteams untersuchen inzwischen die Abstammung der Europäer an teilweise unterschiedlichen Bereichen des Erbguts. Das Grundprinzip ist immer ähnlich: Man erfasst die Mutationen, die sich im Laufe der Zeit in ausgewählten DNA-Abschnitten ereignet haben und in ihren Mustern Abstammungslinien repräsentieren. Dann erstellt man aus den heutigen DNA-Molekülen den Stammbaum der prähistorischen DNA-Moleküle.

Dieser DNA-Stammbaum entspricht einem Familienstammbaum, aber mit zwei wichtigen Unterschieden: Erstens ist der DNA-Stammbaum nicht so detailliert wie ein Familienstammbaum, da sich nicht notwendigerweise in jeder Generation und in jedem Ast eine kennzeichnende Mutation ereignet hat. Zweitens aber reicht der DNA-Stammbaum bis an die Anfänge der Menschheit vor 130 000 Jahren zurück, viel tiefer als das beste Familienbuch. Aus der bekannten Mutationsgeschwindigkeit kann dann das absolute Entstehungsalter jedes rekonstruierten Vorfahren im DNA-Stammbaum berechnet werden.

Zu den Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen, welche die hier vorgestellten Studien über die europäische Besiedlungsgeschichte durchgeführt haben, gehören neben anderen Martin Richards von der Universität Huddersfield (England), Antonio Torroni von der Universität Pavia und Hans-Jürgen Bandelt von der Universität Hamburg. Für die hier angeführten Ergebnisse wurde Erbmaterial der Mitochondrien verglichen – Zellorganellen, die ein eigenes Genom getrennt von dem des Zellkerns besitzen und nur von der Mutter weitervererbt werden (während die Chromosomen im Zellkern teils von der Mutter, teils vom Vater stammen). Diese Befunde von inzwischen über 10 000 Europäern geben darum über die weiblichen Abstammungslinien Auskunft.

Die Berechnungen ergaben Stammbäume, die sich vielfältig verästeln und verzweigen (siehe Kasten Seite 43). Dabei ist zu erkennen, dass sich die heutigen Europäer hinsichtlich des untersuchten DNA-Abschnitts in eine kleine Anzahl von Grundtypen (oder Grundmustern) aufteilen, die jeweils in einer größeren Zahl von Varianten oder Spielarten vorkommen.

Wenn von einem Knoten im Stammbaum viele Zweige zugleich sternartig abstrahlen, heißt dies, dass die Zahl der Mutationsmuster binnen kurzem stark angestiegen sein muss – dass sich folglich Träger des genetischen Musters des ▶

Genetisch unterscheiden sich die Basken fast nicht von den übrigen Europäern. Die Lappen haben einen asiatischen Einschlag, weisen aber überwiegend europäisches Erbgut auf. 40 Prozent von ihnen haben sogar beim Mitochondrien-Genom die Version „V", die ansonsten im Baskenland häufiger vorkommt als im übrigen Europa.



MAURITIUS / PHOTOTHEQUE



HELGA LADE AGENTUR / H.R. BRAMAZ



Die Mehrzahl der heutigen Europäer stammt von Menschen ab, die schon während der Eiszeit auf dem Kontinent lebten. Dies waren Jäger- und Sammlerkulturen, zum Beispiel Rentierjäger wie der rechts dargestellte Mann, der sich mit dem Fell samt Geweih eines Rens tarnt.

Knotenpunktes rasch vermehrt haben müssen. Wir erkennen daraus, welche genetischen Muster an Bevölkerungsexpansionen teilhatten (siehe als ein Beispiel eines solchen Stammbaums den „Stern“ auf Seite 43).

Konkret bedeutet dies: Egal, wo in Europa eine Person lebt beziehungsweise woher auf dem Kontinent ihre nächsten weiblichen Vorfahren stammten – der verwendete Algorithmus weist das untersuchte Erbmuster dieses Menschen einem Expansionstyp zu. Menschen gleichen Grundtyps können sich heute an ganz verschiedenen Orten finden, also weit gestreut über Europa leben. Interessant ist dabei, wie häufig jeder Typ in den einzelnen Gebieten anzutreffen ist. Da unser Rechenverfahren auch die Erbmuster der Nachfahren in den Stammbaum einbaut und deren Alter erkennt, erfahren wir im günstigen Fall auch, wie die einzelnen genetischen Typen sich nach und nach über Europa ausbreiteten.

Wir haben zu unseren Daten auch genetische Muster von Menschen außereuropäischer Regionen aufgenommen, insbesondere von Vorderasien und Nordafrika. So konnten wir erkennen, wo die einzelnen europäischen Grundmuster herkommen und wie alt sie sind.

Unser wichtigstes Ergebnis: Mindestens drei Viertel der heutigen Europäer stammt in weiblicher Linie direkt von Alteuropäern ab, die bereits vor dem Höhepunkt der letzten Vereisung – also vor über 20000 Jahren – aus dem Nahen Osten kamen. Die ältesten europäischen Typen dürften nach unseren Daten vor 50000–80000 Jahren in Vorderasien entstanden sein. Es erweist sich klar, dass sie alle von Linien des modernen *Homo sapiens* abstammen, also nicht etwa auf Neandertaler zurückgehen.

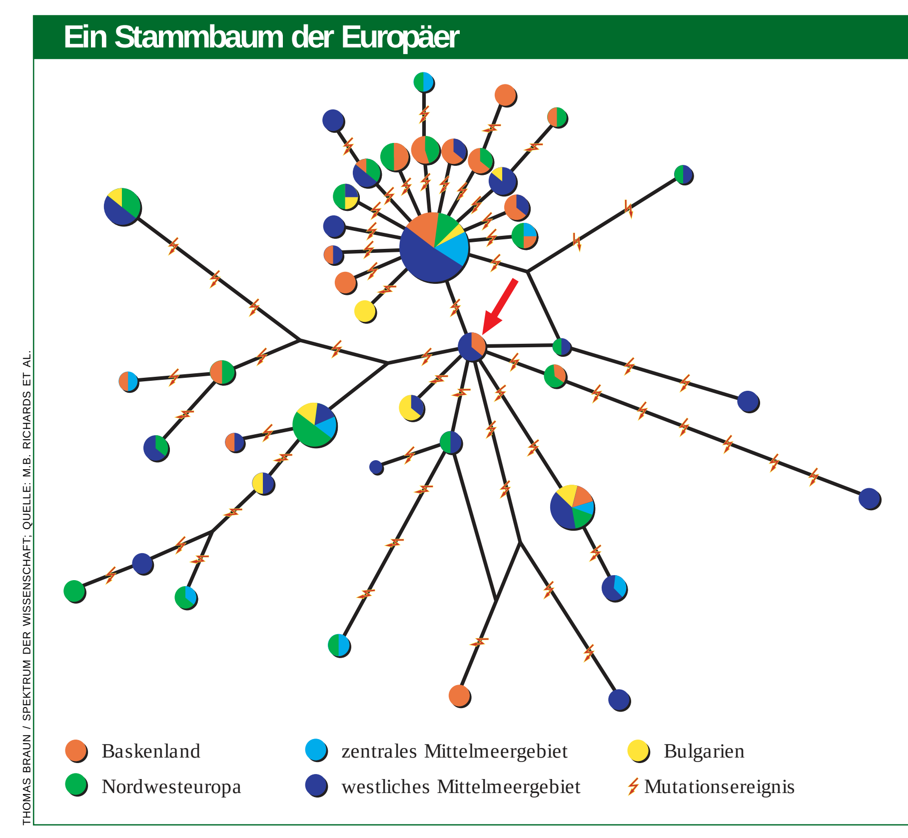
Das eiszeitliche Maximum konnten die Europäer vermutlich nur in den wenigen klimatisch günstigeren Refugien überstehen, wovon die beiden wichtigsten in der Ukraine und in Südwesteuropa lagen. Wie wir zeigten, kamen die Populationen, die den Westen und Norden des Kontinents nach der Eiszeit wieder besiedelten – laut genetischer Datierung vor 10000–15000 Jahren – zu einem beträchtlichen Teil aus Südwesteuropa, denn die Basken und die übrigen Westeuropäer unterscheiden sich genetisch nur zu etwa 25 Prozent. Das bedeutet, völlig entgegen den bisherigen Vorstellungen, dass im Neolithikum neu zugewanderte Menschengruppen zur europäischen Bevölkerung nur relativ wenig beitrugen.

Besonders interessant erscheinen die Ergebnisse über zwei der genetischen Grundtypen des Mitochondrien-Genoms, die wir Version „H“ (oder Typ „H“) und Version „V“ (Typ „V“) nennen. „H“

In „Ein Pyrenäenbuch“ erzählt der deutsche Schriftsteller Kurt Tucholsky (1890–1935):

„Ein Graf von Montmorency rühmte einst vor einem Basken das Alter seines Namens, seines Adels, seiner Familie, rühmte, von welch großen Männern er abstamme. Der Baske erwiderte: Wir Basken, Herr Graf: Wir stammen überhaupt nicht ab!“

Ein Stammbaum der Europäer



Dieser exemplarische Stammbaum der Europäer wurde anhand eines Mitochondrien-DNA-Abschnitts vieler Individuen ermittelt. Die genetischen Daten stammen aus fünf Regionen Europas. Der Stammbaum wurzelt an der Stelle des roten Pfeiles im Zentrum des Bildes – was in dem Fall die gemeinsame Abstammung der Europäer von afrikanischen so genannten modernen Menschen anzeigt. Je größer die „Torten“ beziehungsweise Kreise, umso mehr Individuen wiesen die jeweilige DNA-Sequenz auf. Wie zu erkennen, kommen die häufigeren Genmuster jeweils in allen 5 erfassten Regionen vor. Der untere Teil des Bildes enthält Gruppen von Individuen, deren Abstammung auf vergleichsweise ältere Expansionen zurückgeht. Das Auffälligste an diesem Stammbaum ist der große „Stern“ im oberen Teil, der sehr viele Individuen auf sich vereint. Er bedeutet, dass von seinem Zentrum erst kürzlich (vor 10 000 – 15 000 Jahren) eine starke Expansion ausging.

könnte man der Einfachheit halber als „Hauptversion“ lesen, denn diesen Typ weisen rund 40 Prozent der Europäer auf. Es steht fest, dass dieser Typ schon während der letzten Eiszeit in Europa vorhanden war.

Die Version „V“ mag hier salopp für „Vaskonen“ stehen. Sie gibt nämlich Hinweise auf die Expansion der Menschen nach der letzten Eiszeit aus dem eiszeitlichen Rückzugsgebiet in Nordspanien / Südfrankreich (wie einige andere Linien auch). Wie dieser Typ „V“ sich einst ausbreitete und heute in der Bevölkerung Europas verteilt, zeigt der Kasten auf Seite 44.

Besonders bemerkenswert erscheint: Nicht einmal ein Viertel der heutigen Europäer hat diesen Daten zufolge in weiblicher Linie Vorfahren, die erst vor weniger als 10 000 Jahren auf den Kontinent kamen. Von diesen Zuwanderern, die vermutlich in Europa die ersten Ackerbauern und Viehzüchter waren, erkennen wir mehrere Schübe, sprich mehrere genetische Linien verschiedenen Alters. So zeichnet sich in Westeuropa eine 10 000 Jahre alte Linie ab, in Mitteleuropa eine 6000 Jahre alte. Nach neueren Theorien kamen die ersten Ackerbauern entlang der Mittelmeer- und der Atlantikküste nach Europa – was auch linguistische Untersuchungen der letzten Zeit vermuten lassen.

Unsere Studien des Mitochondrien-Genoms geben allein über die weibliche Abstammungslinie Auskunft. Das könnte bedeuten, dass hauptsächlich Frauen ihr Erbgut in die heutige europäische Bevölkerung eingebracht haben und dass später mit den ersten Ackerbauern, den Neolithikern, vor allem Männer neu einwanderten.

Diese Frage werden erst weitere genetische Untersuchungen etwa über das Y-Chromosom klären können, denn dieses rein männlich vererbte Chromosom könnte über die männlichen Abstammungslinien Auskunft geben. Eine neuere Studie am Y-Chromosom, die Ornella Semino von der Universität Pavia zusammen mit einem internationalen Team durchführte, liefert hierzu die ersten Schritte. In dieser Studie vermuteten die Forscher, dass ihre Befunde gut zu denen am Mitochondrien-Genom passen könnten: Nur rund 20 Prozent der Y-Linien in Europa schienen erst in jüngerer Zeit auf dem Kontinent aufgetaucht zu sein. Auch dürfte eine Ausbreitungswelle von der Iberischen Halbinsel her gekommen sein. Allerdings ist die zeitliche Zuordnung dieser Daten noch unsicher.

Was wir hier für die Bevölkerung Europas geschildert haben, scheint nicht einmal ein regionaler Sonderfall gewesen zu sein. Schließlich war die Eiszeit ein globales Phänomen. Zumindest von genetischer Seite erkennen wir bereits ähnliche Auswirkungen auf anderen Kontinenten.

In zwei Mitochondrienstudien zur menschlichen Besiedlung Asiens und Amerikas haben wir jeweils eine klare eiszeitliche Entvölkerung der nördlichen Breiten mit anschließender Neubesiedlung ausgemacht. (An der Asien-Studie wirkten Arne Röhl von der Universität Hamburg, Antonio Torroni von der Universität Pavia und Colin Renfrew von der Universität Cambridge mit. Unterstützt wurde diese Arbeit vom British Council und vom Deutschen Akademischen Austauschdienst.)

Einmalige Einwanderung

Zum Beispiel stellten wir bei Indianern in verschiedenen Gebieten Amerikas immer wieder dieselben vier Haupttypen mitochondrialer DNA fest. Alle vier Typen sind von Feuerland bis nach Kanada hinein verbreitet. Das Alter aller vier Typen beträgt etwa 25 000 Jahre. Wir schließen daraus auf eine einzige Einwanderung von Asien nach Amerika über die damals trockene Beringstraße, die vor dem eiszeitlichen Höhepunkt vor 20 000 Jahren stattfand, nämlich zu einer Zeit, als Gletscher noch nicht den Weg nach Süden versperrten.

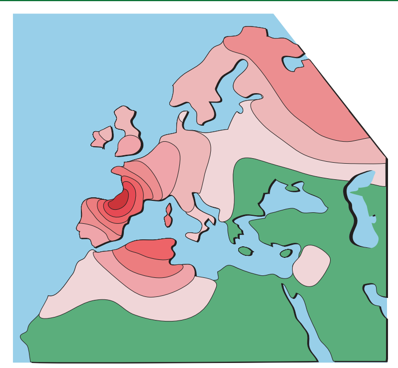
Im äußersten Norden und Nordwesten Amerikas, bei den Eskimos und Na- ▶

Expansion der Altеuropäer

Wie sich eine genetische Sequenz verbreitete

Drei Viertel aller Europäer stammen in weiblicher Linie von einer voreiszeitlichen europäischen Bevölkerung ab und sind eng mit den Basken verwandt. Mehrere genetische Linien sind nach der Eiszeit von Südwesteuropa aus nach Norden und Osten expandiert. Die Ausbreitung und heutige Häufigkeit einer dieser genetischen Gruppen zeigen diese beiden Karten.





Genetischen Studien zufolge wurde das westliche und nördliche Europa nach der Eiszeit von einem iberisch-südfranzösischen Gebiet aus besiedelt. Mehrere in ganz Europa verbreitete DNA-Typen, besonders „H" und „V", haben sich damals offenbar von dort her ausgebreitet. Hier ist die Ausbreitung (links) und heutige Verteilung (oben) von „V" dargestellt. Dieser Typ tritt am häufigsten im Baskenland auf und wird mit der Entfernung seltener. Er findet sich bei jedem fünften Basken und etwa bei jedem zwanzigsten Deutschen. Bei den Lappen (auf dieser Karte sind sie nicht aufgenommen) kommt er doppelt so oft vor wie bei den Basken. Es handelt sich in Nordskandinavien allerdings um eine junge genetische Variante, die sich stark ausbreitete.

THOMAS BRAUN / SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT; QUELLE: A. TORONI ET AL.

Dene-Stämmen, ist dagegen fast nur einer der vier genetischen Typen anzutreffen. Außerdem sind die Varianten dieses Typs dort nur rund 10000 Jahre alt. Unsere Folgerung, dass sich diese Völker nach dem Ende der Eiszeit entlang den nördlichen Regionen ausbreiteten, deckt sich mit den Thesen des amerikanischen Linguisten Joseph Greenberg zur Herkunft der Sprachen Amerikas.

In Ostasien wiederum fanden wir eine klare genetische Abstufung zwischen dem Norden und dem Süden, die Genetikern schon früher aufgefallen war. Die Grenze liegt ungefähr nördlich von Korea. In Südostasien erfassten wir bei der Mitochondrien-DNA etwa sechs Expansionstypen, die über 30000 Jahre alt sind und an der Erstbesiedlung Amerikas beteiligt waren.

Doch im Norden Asiens finden sich fast nur davon abgeleitete Linien, die anscheinend alle jünger als 16000 Jahre sind. Offensichtlich haben diese Menschen, nachdem sie nach der Eiszeit in den Norden gekommen waren, noch vorhandene Spuren der Indianer-Vorfahren in Ostsibirien verwischt. Ob in Zentral- und Nordasien ein sprachliches Gegenstück zur genetischen Neubesiedlung ähnlich wie in Europa und Nordamerika existiert, ist noch strittig. Bei diesen Fragen bewegen wir uns am Rande des Erkennbaren. Wir versuchen aber in interdisziplinärer Zusammenarbeit, die Grenze immer weiter hinauszuschieben. ■

Literaturhinweise

Volksetymologie und Ortsnamenforschung. Von Theo Vennemann in: Beiträge zur Namensforschung, Bd. 34, Heft 3, S. 269, 1999.

Basken, Semiten, Indogermanen. Von Theo Vennemann in: Sprache und Kultur der Indogermanen. Innsbruck 1998, S. 119.

A Signal, from Human mtDNA, of Postglacial Recolonization in Europe. Von Antonio Torroni et al. in: The American Journal of Human Genetics, Bd. 69, S. 844, 2001.

*Weblinks bei **www.spektrum.de** unter „Aktuelles Heft".*







***Elisabeth Hamel** ist Wissenschaftsjournalistin bei München und arbeitet über die Vor- und Frühgeschichte des Menschen. Bei ihren Recherchen zur europäischen Sprachgeschichte fielen ihr die Parallelen in neueren molekulargenetischen Evolutionsstudien der Besiedlung Europas zur Vaskonen-Theorie von Vennemann auf. **Theo Vennemann** (Mitte) ist Professor für Germanistische und Theoretische Linguistik an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Unter anderem studierte er Mathematik, Deutsch und Indogermanistik. Er promovierte an der Universität von Kalifornien in Los Angeles, wo er bis 1974 eine Linguistik-Professur innehatte. **Peter Forster** arbeitet an der Universität Cambridge (England). Er hat Chemie und Genetik studiert und an der Universität Hamburg in Biologie promoviert.*



Wettlauf zum elektronischen

SAM OGDEN

Dieser Prototyp einer sich selbst aktualisierenden Zeitschrift „druckt“ den Text mit elektronischer Tinte der Firma E-Ink. Eine von IBM entwickelte Dünnschicht-Transistormatrix steuert die 800 mal 600 Pixel des flexiblen Displays; jedes Pixel besteht aus einer Mikrokapsel, die mit elektrisch geladener „Tinte“ gefüllt ist. Spezielle Mikrochips – zwei liegen hier auf dem Display – „setzen“ den Text.

Papier

Flink wie ein Bildschirm, flimmerfrei wie eine bedruckte Seite: Mehrere Firmen entwickeln biegsame Folien, die wechselnde Texte und Grafiken wiedergeben. Elektronische Zeitungen und Bücher, die diese Vorzüge vereinen, stehen vor der Marktreife.

Von Steve Ditlea

Was ist das: Es bietet exzellente Auflösung und hohen Kontrast unabhängig vom Blickwinkel, braucht keine Stromquelle, ist leicht, spottbillig und im wörtlichen und übertragenen Sinne höchst flexibel – ganz im Gegensatz zu heutigen Computerbildschirmen? Natürlich, Sie haben es erraten. Kein Wunder, dass herkömmlich bedrucktes Papier im digitalen Zeitalter keineswegs ausstirbt, sondern mehr denn je allgegenwärtig bleibt.

Dennoch hat Papier gegenüber Bildschirmen einen großen Nachteil: Es lässt sich nicht beliebig oft löschen und in Sekundenbruchteilen neu beschreiben. Gäbe es elektronisches Papier mit den Vorzügen eines Bildschirms, so müssten für das Aktualisieren von Preisschildern und Werbeplakaten nicht mehr ganze Wälder abgeholzt werden; ein elektronisches Buch könnte ganze Bibliotheken enthalten und würde doch das vertraute Gefühl herkömmlicher Lektüre vermitteln; Zeitungen und Zeitschriften könnten drahtlos auf dünne, flexible Seitendisplays übertragen und bequem gelesen werden – ob in der U-Bahn oder auf einer einsamen Insel.

Seit dreißig Jahren ist immer wieder versucht worden, elektronisches Papier herzustellen, doch erst seit kurzem geht es damit wirklich voran. Vielleicht schon vor 2010 werden Zeitschriften wie „Spektrum der Wissenschaft“ routinemäßig in dem neuen elektronischen Medium erscheinen – dank der Konkurrenz zwischen zwei dynamischen neuen Firmen. Beide sind Ableger bedeutender Forschungsinstitute: des Xerox Palo Alto Research Center (Parc) und des Massachusetts Institute of Technology Media Laboratory (MIT Media Lab); beide Firmen verwenden winzige elektrisch geladene Kügelchen, deren elektronisch gesteuerter Farbwechsel ein variables Gesamtbild erzeugt. Allerdings sind nicht nur diese zwei Wettbewerber unterwegs zur Markteinführung, sondern auch Quereinsteiger, die mit Leuchtdioden aus Kunststoff experimentieren.

Seit dreißig Jahren verfolgt Nicholas K. Sheridon die Idee eines möglichst papierähnlichen elektronischen Displays. Hier demonstriert er das SmartPaper von Gyricon Media. Mit solchen variablen Anzeigetafeln könnten Supermärkte Tausende von Dollars für den Druck von Preisschildern sparen.



BEIDE FOTOS: ERIC MILLETTE

Ein biegsamer Flachbildschirm

Der erste Versuch mit – wie es damals hieß – „elektrischem Papier“ war eine Antwort auf die schlechten visuellen Eigenschaften der Computerbildschirme in den frühen siebziger Jahren. „Die Bildröhren waren zu dunkel“, erinnert sich Nicholas K. Sheridon. „Ich wollte ein Displaymaterial finden, das möglichst viele Eigenschaften von Papier hat. Einen Ersatz für Papier zu finden war damals gar nicht meine Absicht.“

Bis vor wenigen Jahren war Sheridon Forscher bei Parc, wo er „elektronisches wiederverwendbares Papier“ entwickelte. Die grundlegende Idee – das Einbetten von Plastikperlen mit dem Durchmesser eines menschlichen Haares in ein transparentes, flexibles Medium – hatte er schon zwanzig Jahre früher gehabt. Jede winzige Kapsel ist zur Hälfte schwarz, zur Hälfte weiß, und die Hälften sind entgegengesetzt geladen. Legt man ein passendes elektrisches Feld an das transparente Trägersubstrat an, so präsentieren die Perlen je nachdem ihre schwarze oder weiße Seite – als wären sie Tinte-Partikel, die von selbst an den richtigen Stellen auftauchen.

Sheridon nannte seine Erfindung Gyricon, nach den griechischen Wörtern für „drehen“ und „Bild“. Das Xerox-Management, das damals mehr an neuen Drucktechniken als an Displays interessiert war, zeigte wenig Begeisterung. Erst fünfzehn Jahre später wurde die Idee wieder hervorgeholt und Sheridons Demonstrationsmodell in dieser Zeitschrift vorgestellt (Spektrum der Wissenschaft 10/1998, S. 23).

Bis zur Markteinführung dauerte es noch länger. Zunächst wurde ein separates Unternehmen geschaffen: Gyricon Media mit Sitz in Palo Alto (Kalifornien) und Xerox als Mehrheitseigner. Im März 2001 präsentierte die neue Firma ihr erstes Produkt auf einer Verkaufsmesse für Supermarkt-Ausrüstungen in Chicago. Sheridon, nun Forschungsdirektor von Gyricon Media, stand stolz neben einem graugrünen Schild auf einem Aluminiumfuß, wie man es häufig bei Sonderangeboten in Kaufhäusern antrifft. Die Tafel, etwa so groß wie eine Doppelseite dieses Hefts, zeigte wechselnde Werbeslogans und die Preisangabe „$ 89.99“ in etwas fleckiger Schrift; mit nur drei kleinen Taschenlampenbatterien als

Energiequelle sollte die Anzeige zwei Jahre lang laufen können. So wurde Sheridons elektrisches Papier fast dreißig Jahre nach seiner Erfindung endlich erhältlich – allerdings mit ein paar Einschränkungen.

Als dieser Prototyp des heute als SmartPaper angebotenen Produkts im Herbst 2001 auf 15 Schildern im Warenhaus „Macy's" in Bridgewater (New Jersey) praktisch erprobt wurde, war seine Auflösung mit 100 dpi (dots per inch, Punkten pro Zoll) eher bescheiden im Vergleich zu den 1200 dpi dieser Zeitschrift. Außerdem wurde das an sich flexible SmartPaper-Material – ein in Öl getränkter Silikon-Gummi-Film – durch starre Elektroden aktiviert, und darum war dieses E-Papier steif wie ein Brett.

Bis Ende 2002 möchte Sheridon Schilder auf den Markt bringen, die drahtlos aktualisiert werden können. Wenn man bedenkt, dass Federated Department Stores – das Stammunternehmen von „Macy's" – wöchentlich 250 000 Dollar für das Auswechseln von Preis- und Werbetafeln in seinen Läden ausgibt, möchte man solchen variablen Signaltafeln durchaus eine Marktchance geben. Im Angebot sind demnächst auch kleinere SmartPaper-Schilder, um die Preise in Supermarktregalen automatisch auf dem neuesten Stand zu halten. Die Anschaffungskosten sollen sich durch das Einsparen kostspieliger Strafen für fehlerhafte Preisangaben amortisieren.

Sheridon sagt biegsame, wiederverwendbare E-Zeitungen schon für die nächsten Jahre voraus. Er führt sogar schon ein grobes Modell vor: Aus dem Schlitz eines Aluminiumzylinders zieht er ein Blatt SmartPapier wie von einer Papyrusrolle. In einem funktionsfähigen Prototyp würden an den Enden des Zylinders angeordnete Elektroden die aktuellsten Nachrichten, Kolumnen und Hintergrundberichte auf die gummiartige Oberfläche des Papiers „drucken", das durch Plastikbeschichtung vor Kratzern geschützt wäre. Bald sollen kleinere Gyricon-Perlen für höhere Auflösung sorgen. Sheridon besitzt außerdem ein Patent für Farbdruck; es beruht auf transparenten Perlen mit dünnen Filterscheibchen in Zyanblau, Magentarot und Gelb, die jeweils auf verschiedene Spannungen reagieren.

Der Konkurrent: E-Tinte

So dünn und flexibel elektronisches Papier auch immer werden mag – genau wie das Original wird es sich wohl nie anfühlen. Sheridon gibt zu, dass es nie so leicht wie Papier werden wird. „Papier ist etwa ein Zehntel Millimeter dick, E-Papier wird immer drei- bis oder viermal so dick bleiben. Es muss Papier aber auch nicht genau imitieren, um nützlich zu sein."

Echtes Papier mit der Fähigkeit, sich selbst zu bedrucken, war ursprünglich der Traum des Erzrivalen von Gyricon Media. Unabhängig von Sheridon suchte Joseph Jacobson im Jahre 1995 als angehender Physiker an der Stanford University nach einem lohnenden Forschungsprojekt. Er stellte sich ein Buch vor, dessen Seiten elektronisch so konfiguriert werden können, dass sie nach Belieben den Text von Shakespeares „King Lear" oder eine Einführung in Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie oder eines von hundert anderen Werken wiedergeben, welche auf Siliziumchips im Buchrücken gespeichert sind.

Als bildgebendes Verfahren wählte Jacobson die Elektrophorese: die durch ein elektrisches Feld erzeugte Bewegung geladener Schwebeteilchen in einer Flüssigkeit. Anstelle von Pigment-Perlen benutzt er durchsichtige Mikrokapseln aus Kunststoff, die blaue Tinte und weiße Partikel enthalten. Schweben die positiv geladenen Teilchen aus weißem Titandioxid auf der sichtbaren Seite sämtlicher Mikrokapseln, so erzeugen sie ein makellos weißes Blatt. Wenn eine negativ geladene Elektrode unter einer Kapsel die weißen Partikel zu sich zieht, entsteht an dieser Stelle ein tintenblauer Punkt – bis ein positiver elektrischer Puls den weißen Farbstoff wieder zurückschickt. Kehrt man den gesamten Vorgang um, so erhält man weiße Buchstaben auf blauem Grund. Die in Wasser suspendierten Mikrokapseln können wie Tintenfarbstoff dauerhaft auf Papier oder auf Elektroden tragenden Materialien fixiert ▶



Joseph Jacobson von MIT Media Lab und E-Ink sucht nach dem Papier, das sich selbst bedruckt. Sein ultimatives Ziel ist ein Buch mit Hunderten von E-Ink-Seiten und genügend vielen Speicherchips, um den Inhalt ganzer Bibliotheken aufzunehmen.

Literaturhinweis

The Last Book. Von Joseph Jacobson in: IBM Systems Journal, Bd. 36, Heft 3 (1997).

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft".*



werden. Darum taufte Jacobson sie elektrophoretische Tinte oder kurz E-Tinte.

Er setzte seine Arbeit als Assistenzprofessor am MIT Media Lab mit zwei Studenten fort. Im Jahre 1997 gründeten sie zusammen mit einem Absolventen der Harvard Business School die E-Ink Corporation in Cambridge (Massachusetts). Die neue Firma zog bald Risikokapital und Beteiligungen von großen Konzernen wie Motorola und Hearst Corporation an sowie Forschungsmittel von der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), der Forschungsagentur des Militärs.

1999 bot E-Ink die ersten starren Plakate unter dem Handelsnamen Immedia an; sie maßen 180 mal 120 Zentimeter und zeigten große weiße Kursiv-Buchstaben auf blauem Grund mit einer Auflösung von 2 dpi. Getestet wurden sie in einigen „Penney"-Warenhäusern, bei der Tageszeitung „Arizona Republic" als Schlagzeilen-Displays und sogar als mobile Sandwich-Plakate zur Straßenwerbung für die Internet-Firma Yahoo. Zwar steigerten die Schilder in Warenhäusern Kundenverkehr und Umsatz, doch der Mangel an Schrifttypen, Farben und Grafiken wurde als störend empfunden. Bis zur Entwicklung besserer Schilder hat E-Ink sich vom Markt zurückgezogen.

Biegsame Flachbildschirme

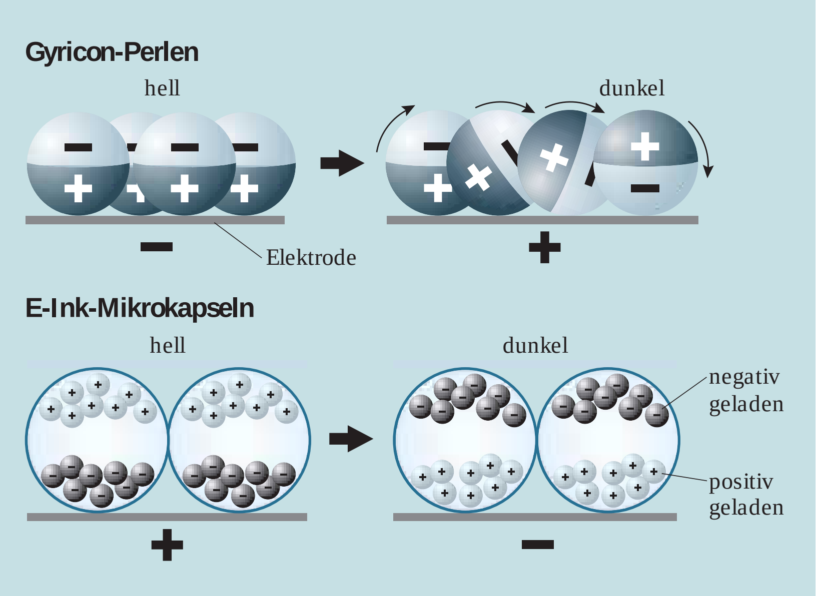
Jacobson gehört dem Vorstand von E-Ink an, befasst sich allerdings kaum mit dem Tagesgeschäft; hauptsächlich ist er als Direktor des Forschungslabors für molekulare Maschinen am Media Lab tätig. Derzeit ist Michael D. McCreary Vizepräsident für Forschung und Entwicklung bei E-Ink. Im Firmensitz am Rande von Cambridge erläutert er, dass Ladenschilder immer nur als erster Schritt galten. „Als Nächstes kommt die Entwicklung hochauflösender Displays für tragbare Geräte", sagt McCreary. Er führt einen starren, handgroßen Bildschirm mit gutem Kontrast und einer Auflösung von 80 dpi vor, der bei schräger Aufsicht bessere Lesbarkeit bietet als herkömmliche Flüssigkristalldisplays.

Im Februar 2001 erwarb der Philips-Konzern für eine Beteiligung in Höhe von 7,5 Millionen Dollar die Exklusivrechte an der E-Ink-Technik, um Displays für so genannte Personal Digital Assistants und elektronische Bücher zu vermarkten. Da diese Version des elektronischen Papiers mit einem Hundertstel des Stroms für herkömmliche Flachbildschirme auskommt, setzt Philips auf einen Marktvorsprung bei der Batterielebensdauer für seine handgroßen Geräte, die innerhalb der

Wie E-Papier funktioniert

Beide Technologien für elektronisch konfigurierbare, papierähnliche Displays beruhen auf mikroskopischen Farbpartikeln, die durch Elektroden gesteuert werden. Das SmartPaper von Gyricon Media benutzt zweifarbige Perlen, die je nach angelegter Spannung die gewünschte Farbe präsentieren (oben). Nicholas K. Sheridon erfand eine Methode, winzige symmetrische Perlen herzustellen, indem schwarze und weiße Kunstharze auf eine schnell rotierende Platte gegossen werden.

Hingegen beruht die elektronische Tinte von E-Ink auf durchsichtigen Mikrokapseln, in denen sich Pigmentpartikel durch ein flüssiges Medium bewegen (unten). Das Herstellungsverfahren nutzt die Standardtechnik, mit der tintenhaltige Mikrokapseln auf die Unterseite von Formularen zum Durchschreiben aufgebracht werden.



LAURIE GRACE

nächsten Jahre erhältlich sein sollen. Ein weiterer Geschäftspartner, Lucent Technologies, vergab an E-Ink die Lizenz zur Nutzung seiner bei den Bell Laboratories entwickelten Plastik-Transistoren. Im November 2000 stellten diese Partner das erste flexible E-Ink-Display vor; es war 15 mal 15 Zentimeter groß, so dick und biegsam wie ein Mousepad. Die 256 daumennagelgroßen Pixel zeigten abwechselnd ein Schachbrettmuster, die Firmennamen und das E-Ink-Logo. Damit wurde im Prinzip bewiesen, dass die gedruckten Schaltkreise für eine Aktivmatrix aus E-Ink-Mikrokapseln durch Aufprägen von Kunststoffen auf eine flexible Kunststoffschicht hergestellt werden können.

Im April 2001 präsentierten E-Ink und ein weiterer Geschäftspartner, IBM Research, ein Aktivmatrix-Display mit höherer Auflösung; dieser 12-Zoll-Bildschirm mit 83 dpi kam bereits an die Bildqualität eines üblichen Laptop-Displays heran. Die Mikrokapseln konnten zehnmal schneller die Farbe wechseln als bisher. Um den Kontrast zu erhöhen, enthielten die Kapseln statt blauer Tinte tiefschwarze Flüssigkeit.

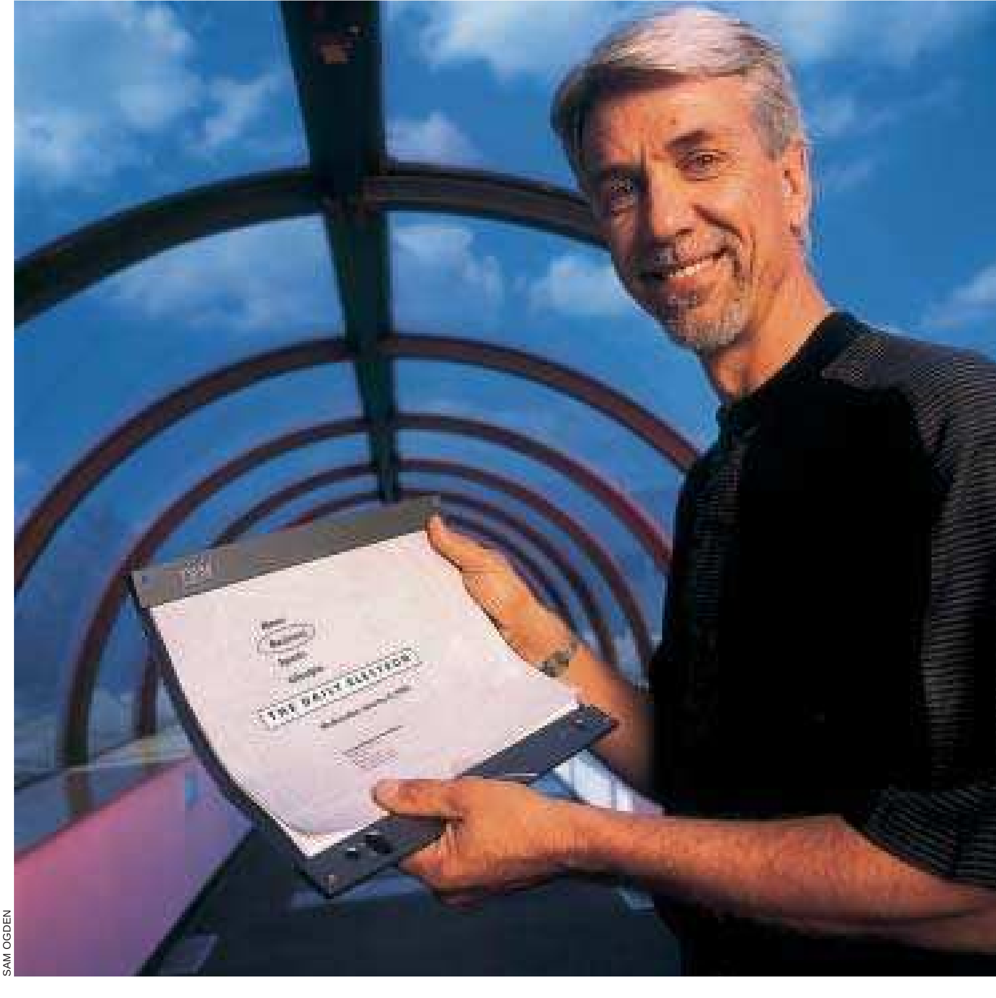
Einen Monat später stellten E-Ink und die japanische Firma Toppan den Prototyp eines Farbdisplays vor. Mit Hilfe der in Flüssigkristallschirmen heute weit verbreiteten Farbfiltermatrizen von Toppan konnte das Modell acht Farben wiedergeben. E-Ink hofft, mit dieser Technik bald 4096 Farben darstellen zu können – ausreichend für handgroße Schirme und Computerspiele.

Mit den neuen Prototypen kommt E-Ink seinem Endziel näher: „Wir nennen es Radiopapier“, erläutert McCreary. Er denkt an ein flexibles digitales Papier, das über ein drahtloses Datennetz Bilder mit hoher Farbauflösung wiederzugeben vermag. Radiopapier soll 2005 auf den Markt kommen – vermutlich gleichzeitig mit ähnlichen Technologien von Gyricon und anderen Firmen.

E-Ink wird dann außerdem mit Leuchtdioden aus organischem Material im Wettbewerb stehen. Ähnliche Kohlenstoffverbindungen wie die Plastikmaterialien in den flexiblen Displays von E-Ink und Lucent können zu Licht emittierenden Halbleitern verarbeitet werden, die ebenfalls biegsam sind und wenig Strom verbrauchen. Diese Alternative zu elektronischem Papier wird gegenwärtig von Eastman Kodak, IBM sowie anderen finanzstarken Unternehmen entwickelt.

Das ultimative Buch

Jacobson träumt seit jeher vom „letzten Buch“. Es besteht aus mehreren hundert Seiten selbstdruckenden Papiers; auf jeder Seite ist ein eigener Prozessor eingeprägt, und der Buchrücken enthält genügend Speicherchips, um sämtliche in der amerikanischen Library of Congress katalogisierten Werke zu fassen.



SAM OGDEN

Robert Steinbugler, Leiter des Strategischen Designprogramms bei IBM, führt eine gummiartige biegsame Mappe vor, die in naher Zukunft aus acht beidseitig digital bedruckbaren Blättern bestehen soll. Diese elektronische Zeitung kombiniert das vertraute Blättern zwischen großen Heftseiten mit dem Vorteil, stets die aktuellsten Meldungen vor sich zu haben.

Doch wenn schon eine einzige Seite fähig ist, beliebige Texte, Bilder oder gar Videosequenzen wiederzugeben, wozu dann ein ganzes Buch? Als einen Grund nennt Jacobson die Anregung des räumlichen Gedächtnisses: Das Blättern in einem Buch macht es dem Leser leichter, eine bestimmte Passage oder Abbildung wiederzufinden.

Irgendwo zwischen Jacobsons E-Buch und Sheridons E-Schriftrolle liegt ein weiteres Format für E-Papier: die digitale Version des Druckbogens, der 8, 16 oder 32 einzelne Seiten auf einem Blatt vereint. Robert Steinbugler, Chefentwickler bei IBM, stellte 1999 die Ideenskizze einer E-Zeitung vor. Bei dieser biegsamen Mappe mit acht beidseitig bedruckbaren Blättern ist das digitale Papier allerdings vorerst nur durch herkömmlich bedruckte Plastikfolien angedeutet. Aus Interviews mit Zeitungsredakteuren und Lesern schloss Steinbugler, dass man lieber in einem mehrseitigen Heft zwischen den Artikeln hin- und herblättern möchte, ohne den Text jedes Mal neu aufrufen zu müssen; auch ist Zeitungslesern die simultane Anordnung unterschiedlicher Meldungen auf einer gedruckten Seite lieber als das Ablesen einzelner Online-Nachrichten vom Bildschirm.

Fast scheint es, als würden die Teilnehmer des Wettlaufs nun zum Endspurt ansetzen. Vielleicht dauert es nicht mehr lange, bis der Spektrum-Leser sein Monatsheft nach Wunsch als E-Mappe, E-Buch oder E-Schriftrolle erstehen kann.

Steve Ditlea *ist freischaffender Wissenschaftsjournalist in Spuyten Duyvil (US-Bundesstaat New York).*

URMENSCHEN

Früher Globetrotter

Der 1997 in Äthiopien gefundene Hominidenschädel könnte ein Bindeglied zwischen zwei bisher als getrennt angesehenen Arten von Frühmenschen darstellen: dem afrikanischen *Homo ergaster* und dem asiatischen *Homo erectus*. Ein äthiopisch-amerikanisches Forscherteam hat das eine Million Jahre alte Fossil nun vermessen und die Daten mit bekannten Hominidenfunden weltweit verglichen. Dabei zeigten sich sowohl Übereinstimmungen mit älteren afrikanischen Schädeln, die bislang zu *Homo ergaster* gerechnet wurden, als auch mit jüngeren asiatischen Schädeln von *Homo erectus*. Die Anthropologen stellen daher in Frage, ob *Homo ergaster* überhaupt als eigene Art anzusehen ist. Vielmehr vermuten sie, dass es sich nur um eine frühe Form des *Homo erectus* handelt, der vor knapp zwei Millionen Jahren von Afrika aus als einheitliche Spezies die gesamte Alte Welt besiedelte und erst durch die Eiszeiten, die vor ungefähr 950 000 Jahren einsetzten, in geografische Typen aufgefächert wurde. So könnte aus dem in Afrika verbliebenen *Homo erectus* schließlich der moderne Mensch, *Homo sapiens*, hervorgegangen sein, während sich der europäische Zweig zum Neandertaler entwickelte und die nach Asien ausgewanderten Frühmenschen einfach von der Bildfläche verschwanden. *(Nature, Bd. 416, S. 317)*


ASFAW ET AL.

Dieser äthiopische Schädel verbindet afrikanische und asiatische Frühmenschen.

STAMMZELLFORSCHUNG

Doch keine Wunderwaffe

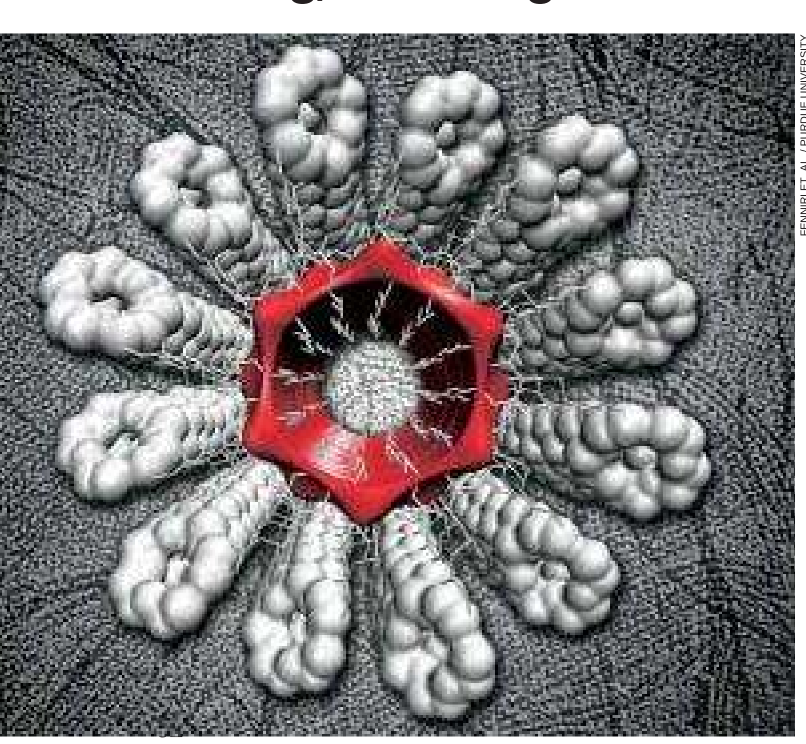
Stammzellen gelten als die kommenden Wunderwaffen zur Behandlung von Leiden wie Parkinson-Krankheit oder Herzinfarkt; denn sie haben die Fähigkeit, die unterschiedlichsten Arten von abgestorbenem Gewebe nachzubilden. Embryonale Stammzellen sind dabei am vielseitigsten, aber ihre Gewinnung wirft ethische Probleme auf. Umso erfreulicher waren deshalb jüngste Berichte, wonach auch „adulte" Stammzellen aus dem Körper von Erwachsenen für die Neubildung von Gewebe geeignet sind. So bewiesen Untersuchungen angeblich, dass aus Knochenmarkzellen beispielsweise Nervengewebe entstanden war. Das widersprach allerdings bisherigen Erfahrungen, wonach adulte Stammzellen nur ein begrenztes Sortiment von Zelltypen bilden können. Ein britisch-amerikanisches Forscherteam hat deshalb jetzt genauer hingeschaut. Dabei stellte sich heraus, dass adulte Stammzellen unter bestimmten Bedingungen lediglich mit Zellen in ihrer Nachbarschaft verschmelzen. Bei Versuchen mit Farbmarker-Genen sieht das dann so aus, als hätten sie Neugewebe gebildet. Das ist jedoch nicht der Fall. Schlimmer noch: Die entstandenen Fusionszellen enthalten ein verdoppeltes Erbgut und könnten wegen dieser Anomalie sogar neue Krankheiten auslösen. *(Nature, Bd. 416, S. 542)*


AUSTIN G. SMITH, UNIVERSITÄT EDINBURGH

In einer Mischkultur fusionieren Stammzellen mit anderen Zellen zu Hybriden, die dann Farbmarker beider Zelltypen (gelb und grün) tragen.

NANOTECHNOLOGIE

Winzig, selbstorganisiert und ausbaufähig


FENNIRI ET. AL. / PURDUE UNIVERSITY

Rosettenförmige Moleküle bilden Nanoröhrchen mit nützlichen Eigenschaften.

Nanoröhrchen kannte man bisher nur von Kohlenstoff – als Abart der berühmten Fulleren-Fußbälle. Doch nun haben Hiram Fenniri und sein Team an der Purdue-Universität in West Lafayette (Indiana) eine neuartige Variante entwickelt. Dabei bestehen die Röhrchen aus seifenartigen organischen Molekülen, die sich in wässriger Lösung selbstständig zusammenfügen. Zunächst bilden sechs Grundbausteine eine Rosette. Diese Ringe türmen sich dann, angetrieben durch Wasserstoffbrückenbindungen, zu den winzigen Röhren übereinander. Elektrische Ladungen auf der Außenseite bilden eine Art elektrostatischen Gürtel, der die Struktur stabilisiert und Andockmöglichkeiten für funktionelle Moleküle bietet. Die Nanoröhrchen lassen sich so fast beliebig für die verschiedensten Zwecke modifizieren, etwa durch Anbau fotoaktiver Substanzen, die an einem Ende Sonnenenergie aufnehmen und am anderen wieder abgeben können. Bei Hitze bleiben die Gebilde stabil und dehnen sich nur aus. Deshalb könnte man damit zum Beispiel medizinische Wirkstoffe umhüllen, die gezielt im Körper freigesetzt würden. Die neuartigen Nanoröhrchen eignen sich aber auch als Gerüst für molekulare Drähte oder als Bauteile für die Nanoelektronik. *(PNAS, doi/10.1073 pnas.032527099)*

WAHRNEHMUNG

Die Farbe der Zahlen

Lassen sich Farben hören oder Formen schmecken? Manche Menschen reklamieren für sich die Fähigkeit zu einer solchen Synästhesie – einer Vermischung verschiedener Arten der Wahrnehmung. Unter Wissenschaftlern bestehen allerdings immer noch Zweifel, ob das Phänomen mehr ist als die Ausgeburt einer lebhaften Fantasie. Psychologen von der Vanderbilt-Universität in Nashville (Tennessee) haben nun jedoch überzeugende Belege für seine Echtheit gefunden. Sie untersuchten einen Mann mittleren Alters, der behauptet, bereits seit frühester Kindheit schwarz auf weiß gedruckte Zahlen, Buchstaben und ganze Wörter in lebhaften Farben zu sehen. Dabei überprüften sie zweimal in einem Abstand von einem Monat, wie er hundert verschiedenen einsilbigen Wörtern des englischen Grundwortschatzes Farben zuordnete. Bei immerhin 97 Wörtern war die Zuordnung beim zweiten Mal dieselbe, bei zwölf Wörtern galt dies sogar, wenn eine Palette aus mehr als tausend Farbtönen verwendet wurde. In einem anderen Test präsentierten die Wissenschaftler dem Mann verschiedene Teile von Ziffern so, dass sie getrennt vom linken oder rechten Auge wahrgenommen und erst im Gehirn zusammengesetzt wurden. Auch hier sah er die Zahlen farbig. Das scheint darauf hinzudeuten, dass synästhetische Assoziationen in einem zentralen Bereich des Sehsystems stattfinden, in dem die Informationen von beiden Augen kombiniert und verarbeitet werden. *(PNAS, Bd. 99, S. 4127)*

KOSMOLOGIE

Urknall besteht Test

Nach dem kosmologischen Standardmodell dehnt sich das Universum seit dem Urknall immer weiter aus. Dabei ist es im großen Maßstab – über Distanzen von etwa zehn Milliarden Lichtjahren – offenbar absolut gleichförmig. Das ergibt die Analyse der kosmischen Hintergrundstrahlung im Mikrowellenbereich – quasi der Nachhall des Urknalls. Sie weist zwar eine ausgeprägte Dipolstruktur auf. Doch diese rührt wohl nur daher, dass sich die Erde mit einer Geschwindigkeit von etwa 370 Kilometern pro Sekunde relativ zum Mikrowellen-Hintergrund bewegt. Berücksichtigt man diese Bewegung, variiert die kosmische Mikrowellenstrahlung nur um ein Hunderttausendstel.

NASA

Die Dipolstruktur des kosmischen Mikrowellenhintergrunds rührt von der Bewegung der Erde her.

Chris Blake und Jasper Wall von der Universität Oxford haben diese Erklärung nun bestätigt, indem sie zeigten, dass die Verteilung weit entfernter astronomischer Radiogalaxien dieselbe scheinbare Dipolverteilung aufweist. Auch sie spiegelt die Relativbewegung der Erde gegenüber diesem mehr oder weniger ruhenden Bezugssystem wider. Die beiden Astronomen werteten für ihre Untersuchung die Kartierungen des Very Large Telescope (VLT) im US-Bundesstaat New Mexico aus, das aus 27 Radioantennen mit jeweils 25 Meter Durchmesser besteht. *(Nature, Bd. 416, S. 150)*

BIOLOGIE

Ortung mit dem ganzen Körper



ROGER L. REEP

Seekühe orientieren sich auch in trüben Gewässern gut – dank ihrer Körperbeehaarung.

Seekühe (Manatees) finden sich auch in trüben Gewässern erstaunlich gut zurecht. Dabei helfen ihnen ihre kurzen Haare, die als mechanische Sensoren fungieren – ähnlich den Schnurrhaaren von Katzen – und ihren gesamten Körper bedecken. Damit können die in Meer und Flüssen lebenden Wassersäuger andere Tiere oder nahegelegene Küsten wahrnehmen, indem sie die Intensität und Richtung der Wasserströmung oder Druckschwankungen registrieren. Das haben Biologen um Roger L. Reep von der Universität von Florida in Gainesville entdeckt. Sie untersuchten die Haarbälge von Seekühen, die bei Kollisionen mit Booten ums Leben gekommen waren. Dabei zeigte sich, dass alle Körperhaare einem speziellen Follikel entsprießen, der von einem dichten Geflecht aus Nerven umgeben ist. „Wenn ein Haar gekrümmt wird, werden die so genannten Mechanorezeptoren auf einer Seite gequetscht und senden ein Signal durch das Netzwerk der Nerven zum Gehirn“, erklärt Reeps Kollegin Margaret Stoll. „Das Haarkleid ist somit ein wesentlicher Teil des Wahrnehmungssystems der Tiere.“ Vor schnellen Booten, die den Seekühen oft zum Verhängnis werden, schützt der Ganzkörper-Tastsinn aber leider nicht – dafür ist er zu träge.

MEDIZIN

Dicke Luft verengt Arterien

Starke Luftverschmutzung – etwa durch Autoabgase – erhöht das Risiko von Herzinfarkten. Das ist seit langem aus Statistiken bekannt. Nun hat eine an der Universität Toronto durchgeführte Studie unter Leitung von Robert und Jeffrey Brook auch den zu Grunde liegenden Mechanismus aufgedeckt: Durch die eingeatmeten Partikel verengen sich offenbar die Arterien. In der Studie unterzogen sich 25 gesunde Freiwillige im Alter von 18 bis 50 Jahren einem zweistündigen Test in einer speziell entwickelten Atemkammer. Dort wurden sie einem kräftigen Smog ausgesetzt – mit 120 Ozonteilchen pro Milliarde Luftmolekülen und 150 Mikrogramm Feinpartikeln pro Kubikmeter Luft. Danach untersuchten die Forscher mit hochauflösendem Ultraschall den Durchmesser der Brachialarterien im Arm ihrer Versuchspersonen. In jedem Fall hatte sich der Durchmesser dieses Gefäßes, das von der Schulter zum Ellbogen führt, um zwei bis vier Prozent verringert. Die Mediziner betonen, dass dies für gesunde Menschen noch keine Gefahr birgt, wohl aber für Personen mit Arteriosklerose und infolgedessen überlasteten Blutgefäßen. *(Circulation, Bd. 105, S. 1534)*

Wird der Ätna

TOM PFEIFFER

Vom Ätna – hier die Eruption eines Nebenkraters am 28. Juli letzten Jahres – bis zu der Großstadt Catania, deren Lichter auf dieser Nachtaufnahme im Hintergrund leuchten, ist es nur ein Katzensprung. Würde der größte Vulkan Europas nicht wie bisher zähflüssige Lavaströme, sondern wie einst der Vesuv Glutwolken aus heißen Gasen und Gesteinsbrocken ausstoßen, die lawinenartig zu Tal rasen, wäre eine Katastrophe unausweichlich.

zum Pulverfass?

Europas aktivster Vulkan gilt als relativ gutartig, da seine gasarmen Magmen sich in zwar spektakulären, aber doch eher harmlosen Lavaströmen ergießen. Nach neuen Erkenntnissen gab es allerdings auch in historischer Zeit schon gefährliche explosive Ausbrüche, die Teile des Gipfels wegsprengten. Und jüngste Untersuchungen offenbaren einen Trend zu gewalttätigerem Verhalten.

Von Tom Pfeiffer

Im vergangenen Jahr geriet der Ätna wieder einmal in die Schlagzeilen. In den Monaten Juli und August hielt er die Öffentlichkeit mit einem heftigen Flankenausbruch in Atem. Ein Lavastrom zerstörte einen Teil der Touristenstation „La Sapienza“ auf 1950 Meter Höhe und bedrohte tagelang die Ortschaft Nicolosi. Die Zusammensetzung des Gesteins erwies sich als ungewöhnlich; ähnlich zähflüssige Laven waren zuletzt vor etwa 15 000 Jahren in größeren Mengen ausgetreten. Damals ereignete sich eine Serie katastrophaler explosiver Ausbrüche, die einen der Vorgängervulkane des Ätna einstürzen ließen.

Im Herbst verkündeten dann Schlagzeilen in der internationalen Presse, das Wahrzeichen Siziliens sei dabei, sich aus einem relativ friedlichen Feuerberg, der hauptsächlich eher harmlose Lavaströme hervorbringt, in einen explosiven und damit viel gefährlicheren Vulkantyp zu verwandeln – ähnlich dem berüchtigten Mount St. Helens, der 1980 einen Teil seines Kraters wegsprengte. Könnte ein solches Schicksal in der näheren Zukunft auch dem Ätna drohen?

Das scheint trotz allem unwahrscheinlich. Dennoch dürfte sein Eruptionsverhalten auf lange Sicht bedrohlichere Züge annehmen. Und die jüngsten Eruptionen machen eines deutlich: Der Ätna ist eine schillernde Erscheinung und immer für Überraschungen gut.



THOMAS BRAUN / NASA EARTH OBSERVATORY

Sein Name leitet sich aus einem alten indogermanischen Stamm ab und bedeutet so viel wie „verbrannt“ oder „brennend“. Die Sizilianer nennen ihren Vulkan allerdings oft auch nur „a muntagna“ (der Berg) oder „Mongibello“, eine Zusammenziehung aus dem italienischen Wort *monte* und dem arabischen *gibel*, was beides Berg bedeutet. Dies erinnert heute noch an die Zeit, als sich die Araber im 9. Jahrhundert auf Sizilien niederließen und den unruhigen Riesen „Gibel Utlamat“ tauften: Berg des Feuers.

Die Liste an Berichten und Legenden über die Tätigkeit des Ätna reicht mindestens 2000 bis 3000 Jahre zurück. Eine relativ lückenlose und verlässliche Chronik gibt es aber erst seit dem 17. Jahrhundert. Frühere Erwähnungen beschränken sich meist auf besonders heftige Ausbrüche. Dazu zählen jene aus den Jahren 122 vor Christus sowie 1169, 1329, 1536 und vor allem 1669, als sich die schwerste historische Eruption ereignete. Damals trat aus einer mehrere Kilometer langen Spalte in der Nähe von Nicolosi ein gewaltiger Lavastrom aus, ergoss sich etwa fünfzehn Kilometer weit bis ins Meer und begrub einen Teil von Catania unter sich. Die zerstörten Viertel wurden im Barockstil aus Lava wiederaufgebaut und prägen seither das markante Stadtbild.

Energiegeladener Dauerbrenner

Mit einem Volumen von etwa 350 Kubikkilometern und einer Oberfläche von rund 1200 Quadratkilometern ist der Ätna der größte Vulkan Europas. Sein 3340 Meter hoher, oft schneebedeckter Gipfel ist an klaren Tagen sogar von den rund 100 Kilometer entfernten Liparischen Inseln zu sehen. Dabei bestehen nur die obersten 2000 Meter des Riesen aus vulkanischem Material. Sie ruhen auf einem nach Osten hin abfallenden nicht-vulkanischen Sockel aus Sedimenten, welche die gesamte Zeit-

Mongibello recente
Ellittico
Trifoglietto
Rocca capra
frühe alkalische Produkte
tholeiitische Produkte
Sedimentsockel
Gipfelkrater
Seitenkanal
Flankenausbruch
zentrales Fördersystem
seitlicher Förderkanal
älterer Förderkanal
zentrale Magmakammer
seitliche Magmakammer
Magmaquelle

MARCO NERI, ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA / BORIS BEHNCKE, UNIVERSITÄT CATANIA / THOMAS BRAUN

Der Ätna setzt sich aus mindestens fünf Generationen von Vulkanbauten zusammen. Sie haben sich im Laufe der letzten 100 000 bis 200 000 Jahre auf den teilweise eingestürzten und erodierten Resten des jeweiligen Vorgängers übereinander getürmt. Dabei wurden auch immer neue Austrittskanäle geschaffen.

Der Ätna liegt nahe an der Grenze zwischen der Europäischen und Afrikanischen Platte sowie im Umfeld dreier tektonischer Störungslinien, die den Aufstieg von Magma aus dem oberen Erdmantel begünstigen. Dennoch sind sie wahrscheinlich nicht die direkte Ursache des Ätna-Vulkanismus. Sein Magma stammt vermutlich teilweise aus einer aufsteigenden Blase heißen Gesteins – einem so genannten Plume; er hat wohl einst auch die Ibleischen Berge weiter südlich gespeist.

spanne von der Oberkreide (vor rund 100 Millionen Jahren) bis zum Quartär (der heutigen geologischen Periode) überdecken. Bei manchen Ausbrüchen können Blöcke dieses Untergrundgesteines vom empordringenden Magma mitgerissen und ausgeschleudert werden. Dies geschieht, wenn sich die Gesteinsschmelze beim Aufstieg erst neue Wege schaffen muss, wie es bei Flankenausbrüchen in der Regel der Fall ist. Auch bei der Eruption im Juli/August 2001 wurden zahlreiche Blöcke aus weißem Sandstein ausgeworfen.

Der Ätna ist etwas über eine halbe Million Jahre alt. Überbleibsel der frühesten, zum Teil untermeerisch ausgeflossenen Lavaströme liegen noch an einigen Küstenabschnitten als so genannte Kissenlaven zu Tage, so die berühmten Zyklopenfelsen bei Acicastello (einige Kilometer nordöstlich von Catania). Der Sage nach handelt es sich um Felsbrocken, die der von Odysseus geblendete Zyklop Polyphemos in seiner Wut den fliehenden Griechen nachschleuderte.

Zunächst entstand in einer leichten Senke im Gebiet des heutigen Ätna ein flacher Schildvulkan. Heute sitzt darauf ein deutlich steilerer Kegel, der sich aus mindestens fünf Generationen von Vulkanbauten zusammensetzt. Sie haben sich im Laufe der letzten 100000 bis 200000 Jahre auf den teilweise eingestürzten und erodierten Resten des jeweiligen Vorgängers übereinander getürmt. Zu den Besonderheiten des Ätna gehört, dass seine Flanken hunderte Schlackenkegel tragen, die bei seitlichen Ausbrüchen entstanden sind. Der heutige Kegel, „Mongibello recente“ genannt, ist etwa 5000 bis 8000 Jahre jung.

Der Ätna zählt zu den am besten und längsten erforschten Vulkanen der Welt. Trotzdem ist er einer von denen, die noch immer am meisten Rätsel aufgeben. Um was für einen Typ von Vulkan handelt es sich und warum existiert er überhaupt? Wie kommt es, dass ausgerechnet in diesem Gebiet Magma entsteht und – noch dazu in so großen Mengen – an die Erdoberfläche dringt? Im Vergleich mit anderen Vulkanen ist der Ätna nämlich äußerst produktiv; in den letzten drei Jahrzehnten förderte er im Mittel etwa dreißig Millionen Kubikmeter Vulkangestein pro Jahr und bis zu 300 Kubikmeter Lava pro Sekunde während der heftigsten Ausbruchsphasen.

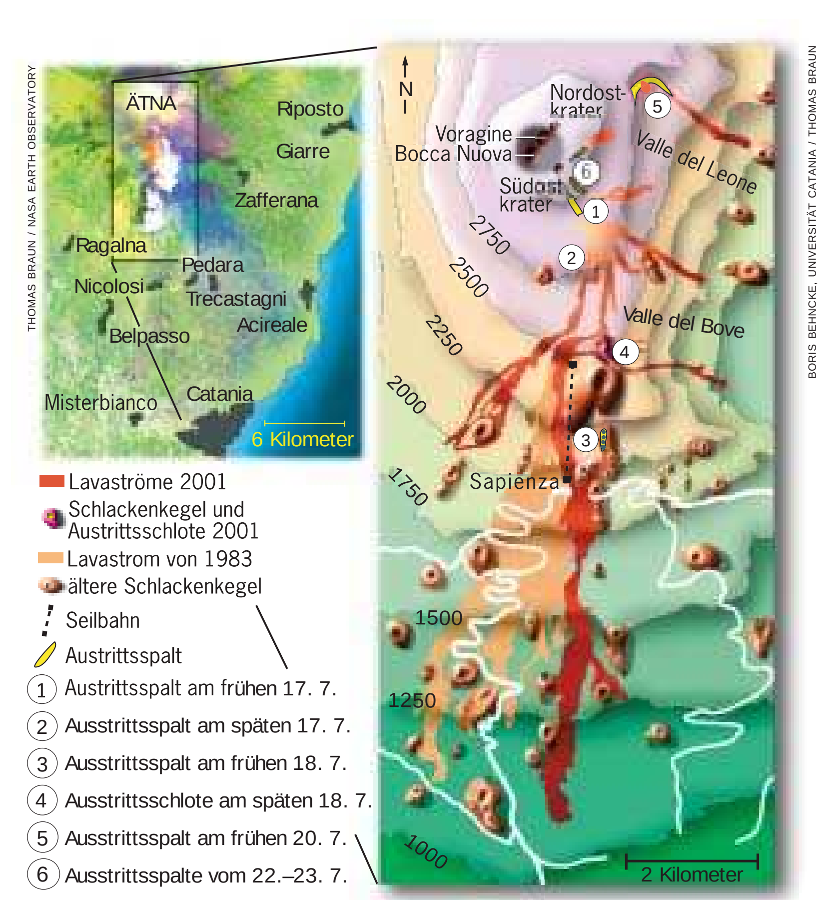
Die Antwort auf diese Fragen ist letztlich in der Plattentektonik zu suchen. Nach dieser zentralen Theorie der Geowissenschaften besteht die feste Erdhülle aus einigen Dutzend riesiger, starrer „Lithosphärenplatten“. Sie setzen sich aus der Kruste sowie dem obersten, starren Teil des Mantels zusammen. Zwischen 5 und 150 Kilometer mächtig, driften sie unabhängig voneinander über die Erdoberfläche. Dabei können sie mehr oder weniger ruckartig aneinander entlanggleiten, sich voneinander entfernen oder übereinander schieben. Dementsprechend teilt man die etwa 530 aktiven Vulkane weltweit anhand ihrer plattentektonischen Lage in drei Typen ein.

Vulkan ist nicht gleich Vulkan

Der erste Typ findet sich an so genannten Riftzonen, an denen zwei Platten auseinander driften. Das beste Beispiel dafür ist das zehntausende Kilometer lange System der mittelozeanischen Rücken. An einer solchen Dehnungszone entsteht gleichsam ein Riss in der Lithosphäre. Dadurch wölbt sich der darunter liegende, heißere und plastisch verformbare Teil des oberen Mantels auf. Dies ist mit einer Druckentlastung verbunden, die das aufsteigende Gestein teilweise schmelzen lässt. Dabei entsteht ein in seiner Zusammensetzung typisches Magma vom basaltischen Typ, das einen hohen Anteil an Eisen und Magnesium enthält. Es dringt in die Lücken zwischen den auseinander driftenden Platten ein und füllt sie kontinuierlich mit neuer ozeanischer Kruste.

Vulkane des zweiten Typs treten an „Subduktionszonen“ auf, an denen genau der gegenteilige Vorgang abläuft: Zwei Lithosphärenplatten kollidieren. Dabei taucht gewöhnlich eine abgekühlte und daher schwerere ozeanische unter eine kontinentale Platte ab. Wasser und andere flüchtige Bestandteile, die in der abtauchenden Platte enthalten sind, treten bei den enormen Drücken in Tiefen von ungefähr hundert Kilometern aus und entweichen in den darüber liegenden heißeren Mantelkeil. Dort senken sie den Schmelzpunkt des Gesteins.

Die resultierenden Magmen unterscheiden sich deutlich von den basaltischen Schmelzen der Riftzonen. Sie haben einen höheren Anteil an Gasen und einigen aus der subduzierten Platte herausgelösten Spurenelementen. Außerdem ändern sie beim Aufstieg entlang tektonischer Störzonen durch das Auskristallisieren einzelner Bestandteile und ▶



Beim jüngsten Ausbruch des Ätna im Juli letzten Jahres trat sowohl in Gipfelnähe als auch an tiefer gelegenen Nebenkratern Magma aus. Ein Lavastrom zerstörte Teile der Touristenstation „Sapienza“ und näherte sich bis auf vier Kilometer der Ortschaft Nicolosi.

andere Vorgänge ihre chemische Zusammensetzung. Typischerweise bilden sich sekundäre Magmen, die mehr Silizium und weniger Eisen und Magnesium enthalten und daher viel zähflüssiger als basaltische Schmelzen sind. Außerdem enthalten sie weitaus mehr gelöste Gase. Beides macht Subduktionsvulkane explosiver als die Feuerberge an Riftzonen.

Bei einer Eruption wird ein Großteil des Magmas schlagartig ausgeworfen und dabei in vulkanische Bomben, Lapilli und Asche zerfetzt. Es entstehen so genannte Strato- oder Schichtvulkane mit steilen Kegelformen, in denen Lagen von Lockerprodukten mit verhältnismäßig kurzen, zähen Lavaströmen abwechseln. Vulkane dieses Typs bilden den so genannten Feuerring rund um den Pazifik. Bekannte Beispiele sind der Mt. St. Helens (USA), der Unzen (Japan) und der Pinatubo (Philippinen), die in den letzten drei Jahrzehnten gefährliche explosive Ausbrüche hatten.

Vulkane des dritten Typs schließlich entstehen unabhängig von den Bewegungen der Lithosphärenplatten an „Hot Spots" (heißen Flecken). Dort steigen Ströme oder pilzartige Gebilde aus überdurchschnittlich heißem, plastischem Mantelmaterial – so genannte Plumes – durch Wärmekonvektion tief aus dem Erdmantel auf und bohren sich wie Schweißbrenner durch die Erdkruste. Die meisten stammen wahrscheinlich von der Grenze zwischen oberem und unterem Mantel in 670 Kilometern Tiefe, einige entspringen aber vielleicht auch dicht über dem flüssigen äußeren Erdkern in 2900 Kilometern Tiefe.

Auch hier lässt die Druckabnahme beim Aufstieg das Gestein teilweise schmelzen, wobei wie an Riftzonen basaltische Magmen entstehen. Hot-Spot-Vulkane erzeugen gewöhnlich dünnflüssige Lavaströme, die sehr flache Kegel oder so genannte Schildvulkane aufbauen. Das bekannteste Beispiel ist der Mauna Loa auf Hawaii. Schildvulkane können enorme Volumina einnehmen und bilden – vom Meeresboden aus gerechnet – die größten Bergmassive der Erde.

Im Spannungsfeld widerstrebender Kräfte

Der Ätna allerdings passt nicht in dieses wohlgeordnete Schema. Er lässt sich keinem der drei genannten Vulkantypen eindeutig zuordnen. Er befindet sich in einem geologisch hochkomplizierten Gebiet, das seine heutige Gestalt tektonischen Prozessen während der letzten fünfzig bis sechzig Millionen Jahre verdankt, die zum Teil heute noch anhalten. Dabei wurde ein Ozeanbecken, das sich einst zwischen Afrika und Eurasien befand, weitgehend von der eurasischen Platte verschluckt. Reste davon sind noch an einigen Stellen erhalten – im ionischen Becken und im östlichen Mittelmeer. Bei der Kollision der beiden Kontinente spalteten sich, bedingt durch großräumige Scherkräfte in Verbindung mit der Öffnung des Atlantiks (und der Trennung von Nordamerika und Eurasien), schon vor etwa hundert Millionen Jahren zwei Mikroplatten ab: Iberia von der eurasischen und Adria von der afrikanischen Platte.

An den verschiedenen Kollisionsfronten wurden dann die jungen Faltengebirge des Mittelmeerraums aufgeworfen. Die Appeninnen, zu denen auch Kalabrien und große Teile Siziliens gehören, entstanden beim Zusammentreffen der Mikroplatten Iberia und Adria. Zur selben Zeit schufen regionale Dehnkräfte wiederholt kleinere Meeresbecken und spalteten einzelne Kontinentalblöcke ab. So entstand das ligurisch-balearische Meer bei der Trennung von Sardinien und Korsika von der iberischen Platte vor rund dreißig bis zwanzig Millionen Jahren. Vor etwa acht bis zwei Millionen Jahren öffnete sich schließlich das tyrrhenische Meer. Durch beide Vorgänge wurde die italienische Halbinsel um beachtliche 120 Grad gegen den Uhrzeigersinn in ihre heutige Lage gedreht.

Der Ätna befindet sich nahe am ehemaligen „Dreiländereck" zwischen der europäischen, der afrikanischen und der adriatischen Platte. Einzelne Blöcke aller drei Platten wurden auf Sizilien übereinander geschoben und miteinander verschweißt. Heute schneiden sich im Bereich des Ätna mehrere große Verwerfungen, die wahrscheinlich auf regionale Dehnungs- und Scherkräfte in der Kruste zurückzuführen sind. Von ihnen hat die Cómiso-Messina-Störung, die einen Graben ähnlich dem Oberrheintal darstellt, die größte Bedeutung. Hier ist die Kruste an parallelen Nähten aufgerissen und das dazwischen liegende Gebiet abgesunken. So entstand die Straße von Messina, die Sizilien von Kalabrien trennt.

Lange sah man in den Verwerfungen, die sich am Ätna kreuzen, die Ursache für dessen Aktivität. Allerdings liefern sie weniger eine Erklärung für die Entstehung des Vulkans als dafür, auf welchen Wegen Magma aufsteigen kann. Vielen Theorien zufolge überwiegt in der Kruste am Ätna Dehnungstektonik, die ähnlich wie an Riftzonen die Lithosphäre verdünnt und die Asthenosphäre darunter passiv zum Aufwölben und Aufschmelzen bringen könnte. Wie das mit den Kompressionskräften der gegeneinander stoßenden afrikanischen und europäischen Platten zu vereinbaren ist, bleibt allerdings offen. Außerdem besitzen nur etwa zwanzig Prozent der ausgetretenen Basalte die für solche Riftzonen charakteristische chemische Zusammensetzung.

Seinen Produkten und der Art der Tätigkeit nach zu urteilen scheint der Ätna noch am ehesten mit den Hot-Spot-Vulkanen verwandt zu sein. In jüngster Zeit wird daher vermutet, dass er aus einem aktiven Plume entstanden ist. Allerdings

Eine Kostprobe seiner Zerstörungskraft gab der Ätna letzten Juli, als ein Lavastrom trotz Versuchen, ihn durch hastig aufgebaggerte Dämme und Gräben umzuleiten, bis zur Touristenstation „Sapienza" vordrang und dort einige kleinere Gebäude zerstörte. Auch Teile der von „Sapienza" aufsteigenden Seilbahn fielen ihm zum Opfer.



TOM PFEIFFER

muss man sagen, dass sich mit keinem der verschiedenen Modelle bislang alle Besonderheiten des eigenwilligen Feuerspuckers befriedigend erklären lassen.

Beispielsweise gehört der Ätna zu den ganz wenigen Vulkanen, die eine so genannte Dauertätigkeit aufweisen, also keine oder nur sehr kurze Ruhepausen zwischen aktiven Phasen einlegen. Dies setzt voraus, dass ständig Magma aus dem Erdmantel nachströmt und dass ein permanent offener Aufstiegsweg für die Schmelze existiert. Die Verbindung der Krater mit den Magmareservoiren, die etwa 2 sowie 20 bis 30 Kilometer unter dem Gipfel vermutet werden, scheint in der Tat ein extrem langlebiges Gebilde zu sein. Das bestätigen auch seismische Untersuchungen, wonach sich das Magma relativ geräuscharm, also ohne auf viel Widerstand zu stoßen, nach oben bewegt.

Tückische Lavafontänen

Welche Form die vulkanische Aktivität des Ätna jeweils annimmt, hängt vor allem davon ab, wie hoch die Schmelze im Inneren des Vulkans steht. Im oberen Bereich der Magmasäule herrscht ein relativ niedriger Druck, sodass gelöste Gase (unter anderem Wasser und Kohlendioxid) ausperlen. Die entstehenden Blasen steigen im Magma auf und können einen Teil davon mitreißen. Mit zunehmender Höhe und weiter sinkendem Druck werden immer mehr Gase freigesetzt, was den Prozess beschleunigt. An der Oberfläche der Magmasäule treten die Gasblasen explosionsartig aus und schleudern dabei flüssige und feste Bestandteile der Schmelze sowie Nebengestein in Form von mehr oder weniger großen Teilchen oder Brocken davon. Solange das Magma tief im Schlot steht, erreichen nur die freigewordenen Gase und feinste Aschepartikel den Kraterrand. Wenn es sich weiter oben befindet, werden auch größere Blöcke (Schlacken und Bomben) ausgeworfen. Steigt die Magmasäule in seltenen Fällen über den Kraterrand hinaus an, läuft die Schmelze über und bildet einen Lavastrom.

Für einen basaltischen Vulkan gibt sich der Ätna erstaunlich temperamentvoll. Neben Lavaströmen zeigt er permanente, rhythmisch stattfindende Explosionen, die Dampf, Asche und teilweise auch glühende Lavabrocken ausschleudern. Diese so genannte strombolianische Aktivität kulminiert manchmal in kontinuierlichen, mehrere hundert Meter hohen Lavafontänen. Sie erreichten während der spektakulären Ausbrüche des Südost-Kraters in der ersten Hälfte des Jahres 2000 die enorme Höhe von 1200 Metern – ein weltweiter Rekord.



Am 19. Juli 2001 riss in etwa 2500 Metern Höhe ein Eruptionsspalt auf, der sich in den folgenden Tagen zu einem ansehnlichen Krater entwickelte. Am 24. Juli stieß er dichte Aschewolken und bis zu 400 Meter hohe Lavafontänen aus.

TOM PFEIFFER

Einen solchen Ausbruch aus der Nähe mitzuerleben, kann lebensgefährlich sein, wie ich am eigenen Leib erfahren habe. Im Februar 2000 schien der Südost-Krater einem geheimen Rhythmus zu folgen. Über mehrere Wochen hinweg ereigneten sich außergewöhnlich heftige Eruptionen in regelmäßigen Abständen von etwa 12 oder auch 24 Stunden. Zusammen mit anderen Beobachtern wartete ich am 15. Februar 2000, etwa einen Kilometer vom Krater entfernt, auf den nächsten Ausbruch.

Zermürbt von sechs Stunden Ausharren in eisiger Kälte und stürmischem Wind auf fast 3000 Meter Höhe wollen wir nach Einbruch der Dunkelheit schon den Rückzug antreten, da steigen auf einmal Dampfwolken aus dem Krater auf und werden immer dichter. Bald folgen graue Aschenstöße. Und schon nach wenigen Minuten zeigen sich die ersten glühenden Brocken, die gespenstisch in einzelnen, schwachen Explosionen im Krater auf- und niedertanzen. Dieses Spiel währt einige Minuten. Dann werden die Explosionen zuerst langsam und dann mit atemberaubender Geschwindigkeit immer stärker. Wir schätzen die Wurfhöhe der Blöcke auf 50, dann 100, 200, 300, 500 und schließlich weit mehr als 1000 Meter über dem Gipfel. Binnen ▶

TOM PFEIFFER





Am 25. Juli war in dem neu entstandenen Krater auf der Flanke des Ätna ein kochender und sprudelnder Lavasee entstanden, in dem sich manchmal eine Magmablase bildete und mit ohrenbetäubendem Knall zerplatzte.

kurzem ist der ganze Kegel mit glühenden Lavabomben bedeckt. Gleichzeitig beginnt ein Springbrunnen von gelber Lava aus einer Spalte unterhalb des Kraters herauszuquellen. Die glühende Schmelze läuft wie Wasser den 300 Meter hohen steilen Hang hinunter und verzweigt sich am Fuß des Kegels zu einem breiten Delta.

Nach etwa fünfzehn Minuten erreicht der Ausbruch seinen dramatischen Höhepunkt. Die einzelnen Explosionen sind in eine 700 bis 1000 Meter hohe Fontäne übergegangen, die die nächtliche Szene taghell erleuchtet und bis zum Zenit zu reichen scheint. Zugleich erfüllt ein unheimliches dumpfes Dröhnen die Luft, überlagert vom kanonenartigen Getöse des explodierenden Magmas und den zischenden Fluggeräuschen der Lavabomben. Manche schlagen ganz in unserer Nähe in den Schnee ein. Zum Glück schießt die Lava vertikal in die Luft, und das fallende Material wird vom kräftigen Wind von uns weggeblasen. 150 Meter von uns entfernt hängt eine dunkle Wand aus herabregnenden Lapilli.

Literaturhinweise

Transition of Mount Etna Lavas from a Mantle-Plume to an Island-Arc Magmatic Source. Von P. Schiano, R. Clocchiatti, L. Ottolini und T. Busà in: Nature, Bd. 412, S. 900 (30. 8. 2001).

The Formation of Mount Etna as the Consequence of Slab Rollback. Von Z. Gvirtzman und A. Nur in: Nature, Bd. 401, S. 782 (21. 10. 1999).

Discovery of a Plinian Basaltic Eruption of Roman Age at Etna Volcano, Italy. Von M. Coltelli, P. Del Carlo und L. Vezzoli in: Geology, Bd. 26, Nr. 12, S. 1095 (1998).

Der Ätna. Von H. Pichler und R. Schick in: Spektrum der Wissenschaft 1/1985, S. 46.

*Weblinks finden Sie bei **www.spektrum.de** unter „Aktuelles Heft“.*

Spitzenplatz bei den natürlichen Luftverschmutzern

Doch plötzlich ändert die Fontäne ihre Richtung. Ein seitlicher Strahl kommt direkt auf uns zu! Bis uns die Gefahr bewusst wird, vergehen einige Sekunden, doch wir schaffen es gerade noch rechtzeitig, unter das Dach der alten Bergstation „Torre del Filosofo“ zu flüchten. Schon regnet es um uns herum glühende Steine; Lavabomben aller Größen fallen krachend auf das Gebäude oder landen Funken sprühend im Schnee. Glücklicherweise bleibt das 50 Zentimeter starke Betondach von größeren Blöcken verschont. Nur zehn Meter weg schlägt eine zwei Meter große Bombe ein, die einen fünf Meter breiten Krater im Boden hinterlässt und noch Stunden später im Inneren glüht.

Der Albtraum scheint uns endlos, ist aber tatsächlich nach zwei Minuten vorbei: Die Lavafontäne richtet sich wieder vertikal auf und bleibt noch einige Minuten majestätisch so stehen. Dann versiegt der Nachschub aus der Tiefe, und die Feuersäule bricht jäh zusammen, als würde sie vom Krater verschluckt. Einige letzte schwache Explosionen, und der Spuk ist nach dreißig Minuten vorbei. Vor uns liegt ein 300 Meter hoher, noch rot glühender Kegel, an dem sich nichts mehr regt.

Ausbrüche wie dieser erklären sich durch den hohen Gehalt der Ätna-Laven an Gasen – außer Wasserdampf und Kohlendioxid auffallend viel Schwefeldioxid. Dessen Ausstoß erreichte während einer Eruptionsphase bis zu 20000 Tonnen pro Tag. Damit nimmt der Ätna einen Spitzenplatz in der Weltrangliste der natürlichen Luftverschmutzer ein.

Allerdings ist ein so extrem hoher Gehalt an Schwefeldioxid normalerweise typisch für die explosiven Vulkane an Subduktionszonen. Dass der Ätna dennoch den Ruf eines friedlichen Gesellen genießt, liegt daran, dass seine basaltischen Laven anders als die der Subduktionsvulkane sehr dünnflüssig sind. Sie entgasen daher leicht und können dann als Lavaströme austreten.

In den letzten Jahren haben Vulkanologen aber entdeckt, dass sich in der jüngeren geologischen Vergangenheit am Ätna durchaus auch hochexplosive Eruptionen ereignet haben. Dabei wurden – ähnlich wie bei den Ausbrüchen des Pinatubo 1991 oder Mt. St. Helens 1980 – in kürzester Zeit mehrere Kubikkilometer Asche und gröberes Material in einer gewaltigen Eruptionssäule in die Atmosphäre geschleudert.

Noch bis vor wenigen Jahren hätte man bei basaltischen Vulkanen wie dem Ätna ein derart explosives Gebaren nicht für möglich gehalten. Doch der letzte solche Ausbruch scheint sich sogar erst vor recht kurzer Zeit ereignet zu haben: im Jahr 122 vor Christus. Damals wurden weit über ein Kubikkilometer Basaltlava in einer Eruptionssäule ausgeworfen, die 24 bis 26 Kilometer hoch in die Atmosphäre aufgestiegen sein muss.

Die dabei abgelagerten Aschen und Lapilli erreichen im Gipfelbereich des Ätna über zwei Meter Mächtigkeit. Im Umkreis der dreißig Kilometer entfernten

Stadt Catania sind die Lagen immer noch 10 bis 25 Zentimeter dick. Würde sich ein solcher Ausbruch heute wiederholen, wäre dies eine Katastrophe. Die Menge an niederfallender Asche brächte fast alle Hausdächer zum Einsturz. Die Kanalisation würde verstopft und die gesamte Infrastruktur in einer Gegend zerstört, in der etwa eine Million Menschen leben.

Auch der Flankenausbruch im Juli/August 2001 passt ins Bild der Eigenwilligkeiten des Ätna. War man – wie ich – am Schauplatz, kam man nicht umhin, das beunruhigende Gefühl zu haben, dass die Eruption ungewöhnlich heftig war. Sie begann am 17. Juli. Innerhalb weniger Tage öffneten sich fünf Spalten, aus denen große Mengen Lava austraten. Ein gewaltiger Strom glutflüssigen Gesteins wälzte sich bis vier Kilometer vor Nicolosi und veranlasste den Zivilschutz, Vorbereitungen für eine mögliche Evakuierung zu treffen. Allerdings wurde die Bedrohung der Ortschaft von den Medien aufgebauscht. Obwohl die Gewalt des Ausbruchs viele überrascht hatte, bestand für das Dorf noch keine akute Gefahr, da sich der Lavastrom stark verlangsamte und die Eruption nicht lange genug anhielt. Es hätte aber auch anders kommen können.

Großräumige Sperren wurden eingerichtet, um die herbeiströmenden Scharen schaulustiger Einheimischer und Touristen fern zu halten. Rund um die Uhr arbeiteten Feuerwehrleute an den Skihängen fieberhaft daran, künstliche Dämme und Gräben zu baggern, um Lavaströme umzuleiten und dadurch die Seilbahn sowie die wichtigsten Einrichtungen auf der bedeutenden Touristenstation „La Sapienza“ in 1950 Metern Höhe zu retten. Dies gelang teilweise. Mehr durch Glück entkam wenigstens die Talstation der Seilbahn den Lavaströmen, allerdings nur um Haaresbreite.

Weiter oben, auf 2500 Meter Höhe, entstand ein neuer Krater, der tagelang mit gewaltiger Kraft aktiv war. Unermüdlich spie er Lavafontänen und dichte Aschewolken und wuchs in kurzer Zeit zu einem etwa hundert Meter hohen neuen Kegel heran. Der Wind wehte die Teilchenwolke nach Südosten und tauchte den tiefer gelegenen Hang in einen staubigen Regen aus trockener, schwarzer Asche, die die Sonne verschleierte und sich wie feiner Sand über alles legte. In Catania kam der Flugverkehr mehrfach zum Erliegen, was in der Haupttouristensaison ein beträchtliches Chaos auslöste. An manchen Tagen war die mehrere hundert Kilometer lange Aschewolke von Satelliten aus gut sichtbar (Bild unten).

Ein besonderes Schauspiel boten auch riesige, kreisrunde Magmablasen, die manchmal in dem neuen Krater aufstiegen und mit ungeheuerer Wucht und kanonenartigem Getöse zerplatzten. Sie zu beobachten, war allerdings eine heikle Angelegenheit. Einerseits musste man stets nach Bomben Ausschau halten, die von mehr als einem Kilometer Höhe herabfallen konnten. Andererseits ließ sich das Getöse des Kraters aus weniger als einem Kilometer Abstand schutzlos kaum ertragen. In gut 500 Metern Entfernung musste ich Ohrenstöpsel tragen.

Beim Platzen der Magmablasen entstanden Druckwellen, die wie unsichtbare Geister durch die Luft rasten. Zu spüren waren sie als heftiger Schlag auf den ganzen Körper. Noch in vielen Kilometern Abstand erschütterten die Detonationen noch Türen und Fenster – ähnlich dem Überschall-Knall eines tief fliegenden Düsenjets. Selbst die Einheimischen, die an den Vulkan gewöhnt sind, zeigten sich über das Toben besorgt.

Die wissenschaftliche Sensation war jedoch, dass es sich eigentlich um zwei unabhängige, simultan stattfindende Ausbrüche handelte. Die Aktivität der Eruptionsspalten in Gipfelnähe (zwischen 2700 und 3000 Metern Höhe) bildete letztlich nur die Fortsetzung einer schon seit mehreren Jahren andauernden Tätigkeit des Südost-Kraters. Der andere Ausbruch ereignete sich dagegen an den tiefer liegenden Spalten zwischen 2100 und 2500 Metern Höhe. Die hier geförderte Lava unterschied sich völlig von der ursprünglicheren – Vulkanologen sagen „primitiveren“ – Lava der Gipfelkrater. Sie musste sich offenbar über längere Zeit in einem separaten Reservoir angesammelt und entsprechend chemisch verändert haben. Außer den schon erwähnten Sandsteinblöcken waren zahlreiche, bis zu mehrere Zentimeter große Kristalle des am Ätna sehr seltenen Minerals Amphibol darin zu finden. Es hat neben Eisen, Magnesium und Silizium auch Wasser in seiner Kristallstruktur gebunden und kann sich daher nur aus Magmen bilden, die von vorneherein sehr viel Wasser enthalten oder es in der Magmakammer langsam von außen aufnehmen.

Auf der Suche nach der Magmaquelle

Ähnliche Laven sind zuletzt in größeren Mengen vor etwa 15000 Jahren gefördert worden. Wie man inzwischen weiß, ereignete sich damals eine Serie katastrophaler explosiver Ausbrüche, die zum Einsturz eines der Vorgängervulkane des Ätna geführt haben. Auch dies ist eine beunruhigende Erkenntnis, die nicht so recht ins Bild des Ätna als friedlichem Vulkan passen will. Könnte es in der näheren Zukunft erneut eine verheerende explosive Eruption geben?

Die Antwort hängt ganz wesentlich davon ab, woher die Magmen stammen, die den Ätna letztlich speisen. Um deren Ursprung zu ergründen, müsste man die chemische Zusammensetzung des Gesteins tief im Erdmantel ermitteln, aus dem die Original-Schmelze entsteht. An der Oberfläche austretendes Magma liefert keinen direkten Aufschluss über die eigentliche Magmaquelle; denn es unterliegt bei seinem Aufstieg chemischen ▶



NASA EARTH OBSERVATORY

Die gewaltige Aschesäule, die der Ätna bei seinem jüngsten Ausbruch im Sommer 2001 ausstieß, erreichte am 22. Juli eine Höhe von mehr als fünf Kilometern. Das Foto wurde von der internationalen Raumstation aus aufgenommen. Wegen des Ascheregens mußte der Flughafen Catanias vorübergehend geschlossen werden.

Veränderungen, die seinen ursprünglichen Charakter verschleiern. Dennoch gibt es eine Möglichkeit, das Original-Magma zu beobachten. Die Chance dazu bieten so genannte Schmelzeinschlüsse. Wenn sich bereits in einem sehr frühen Stadium Kristalle im Magma bilden, können sie bei ihrem Wachstum kleine Tröpfchen der umgebenden Schmelze einschließen. Diese bleibt danach von allen weiteren chemischen Veränderungen abgeschirmt und so als winzige Probe des primitiven Magmas erhalten.

Solche Einschlüsse zu analysieren ist allerdings aufwendig, und deshalb gab es für den Ätna bis vor kurzem kaum entsprechende Daten. Diese Lücke wollten Pierre Schiano (Université Blaise-Pascal, Paris), Roberto Clocchiatti (Centre d'Etude Nucléaire de Saclay, Gif-sur-Yvette) und ihre italienischen Kolleginnen Luisa Ottolini (CNR, Pavia) und Tiziana Busà (Università di Catania) schließen. Und so begannen sie 1996 mit einer umfassenden Untersuchung der primitiven Magmen des Ätna und benachbarter Vulkane. Hilfreich dabei war, dass Clocchiatti über eine einmalige Sammlung mit Hunderten von prähistorischen und historischen Lavaproben des Ätna (darunter alle seit 1982 produzierten) verfügt. Außerdem hat er sich seit langem mit geradezu leidenschaftlichem Eifer der Aufgabe verschrieben, das Verhalten des größten europäischen Feuerbergs zu verstehen. „Ich liebe den Ätna wegen seiner Schönheit und seiner Unberechenbarkeit", bekennt er, „und nach zwanzig Jahren Arbeit fange ich an, ein wenig Erfahrung zu haben."

Um möglichst ursprüngliche Schmelze zu finden, suchten die Forscher unter dem Lichtmikroskop nach glasartigen Einschlüssen in Olivinkristallen, da diese sich schon sehr früh aus einem Magma abscheiden. Die entdeckten, weniger als 0,2 Millimeter großen Bläschen schmolzen sie zunächst mit einer Heizplatte unter der Probe wieder auf. Damit wollten sie eventuelle Inhomogenitäten innerhalb der Einschlüsse beseitigen, die zum Beispiel durch die Bildung von Mikrokristallen nachträglich entstanden sein könnten. Beim Abschrecken der Proben entstand dann ein homogenes Glas mit dem chemischen Charakter der ursprünglichen Schmelze. Dieses analysierten die Forscher mit einer so genannten Elektronen-Mikrosonde. Dabei wird ein fein gebündelter Elektronenstrahl auf eine winzige Stelle der Probe gelenkt. Er regt die dort vorhandenen Atome dazu an, eine für sie charakteristische Röntgenstrahlung auszusenden. Dadurch lässt sich die chemische Zusammensetzung der Probe an der gemessenen Stelle mit hoher Genauigkeit ermitteln.

Verräterische Spurenelemente

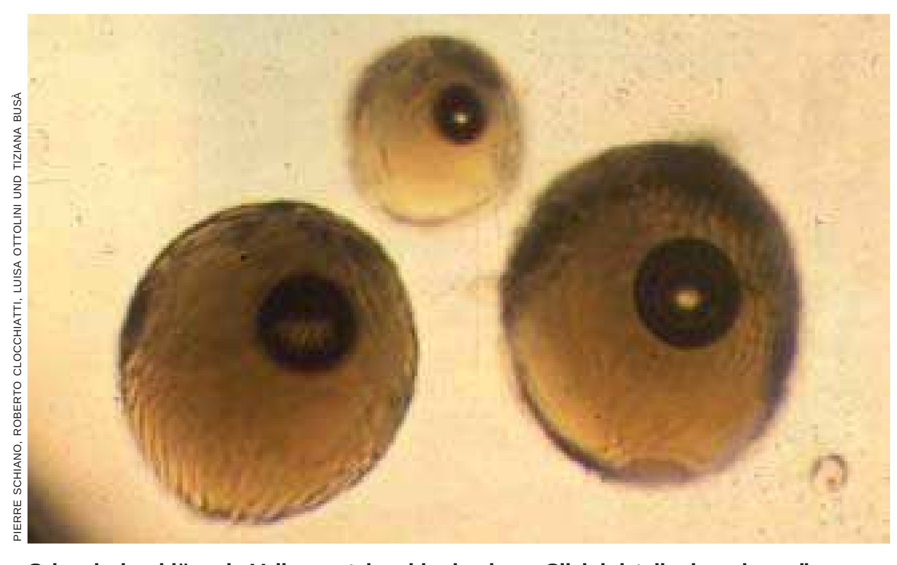
Von besonderem Interesse sind dabei so genannte Spurenelemente, die nur in äußerst geringen Mengen vorkommen. Die meisten davon haben eine ausgeprägte Tendenz, in eine schon vorhandene Schmelze überzugehen. Vereinfacht ausgedrückt, finden sie wegen der Ladung und Größe ihrer Ionen in den Kristallgittern der gewöhnlichen Gesteinsminerale nur schlecht Platz, weshalb sie auch „inkompatibel" genannt werden. Bildet sich nun irgendwo im Mantel eine Schmelze, reichern sich diese Spurenelemente schon in den ersten Tröpfchen stark an. Dabei bewahren sie ihr ursprüngliches Mengenverhältnis. Dank dieser Eigenschaft können sie wie ein Fingerabdruck zur Charakterisierung des Ausgangsgesteins dienen.

Magmen von Hot-Spot-Vulkanen, die aus Plumes und damit aus tieferen Mantelbereichen stammen, haben normalerweise relativ hohe Konzentrationen an inkompatiblen Spurenelementen; denn ihr Ausgangsgestein ist gegenüber der ursprünglichen Zusammensetzung des Erdmantels noch kaum verändert. Außerdem verflüssigt sich meist nur ein relativ geringer Teil des Plumes, sodass sich die inkompatiblen Elemente stark in der Schmelze anreichern. Dagegen enthalten Basaltmagmen, die an Riftzonen durch Aufschmelzen des obersten Mantels entstehen, die meisten inkompatiblen Spurenelemente nur noch in geringen Konzentrationen. Einerseits ist das Ausgangsgestein nämlich schon durch frühere Schmelzvorgänge an diesen Elementen verarmt, andererseits liegt der Aufschmelzungsgrad in aller Regel höher als bei Plumes, was die Spurenelemente im Magma zusätzlich verdünnt.

An Subduktionszonen schließlich beeinflussen leichtflüchtige Stoffe wie Wasser oder Kohlendioxid aus der abtauchenden Platte den Schmelzvorgang. Einige inkompatible Spurenelemente wie Strontium, Kalium, Rubidium und Barium werden durch die wasserhaltigen Lösungen aus der subduzierten Platte leicht ausgewaschen und reichern sich in den entstehenden Magmen sehr stark an. Andere dagegen – insbesondere Niob, Titan und Zirkonium – verlieren unter diesen Umständen ihre Neigung, in die Schmelze überzugehen: Sie sind in den wasser- und kaliumreichen Magmen der Subduktionszonen nur wenig löslich. Dies spiegelt sich in charakteristischen, negativen Konzentrationsanomalien dieser Elemente wieder.

Die Analysen von Schmelzeinschlüssen, die in Labors in Paris und Pavia (Italien) vorgenommen wurden, hatten ein überraschendes Ergebnis. Die älteren, bis vor etwa 100 000 Jahren entstandenen Magmen des Ätna entsprachen in ihrer Zusammensetzung denen der benachbarten älteren sizilianischen Vulkane der Ibleischen Berge, die heute erloschen sind. Ihrem Inventar an Spurenelementen nach zählen sie eindeutig zu einem bestimmten Typ von Hot-Spot-Vulkanen, dem zum Beispiel auch die Azoren angehören. Dies unterstreicht, dass der Ätna ursprünglich durch denselben Plume wie seine Nachbarvulkane in den Monti Iblei gespeist wurde.

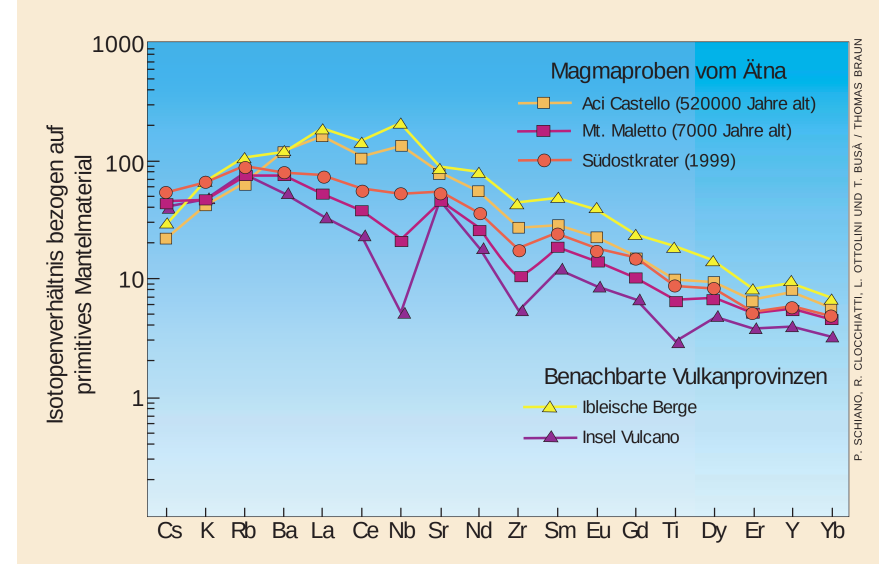
Die jüngeren Magmen aus den letzten 100 000 Jahren liefern dagegen ein



PIERRE SCHIANO, ROBERTO CLOCCHIATTI, LUISA OTTOLINI UND TIZIANA BUSÀ

Schmelzeinschlüsse in Vulkangestein – hier in einem Olivinkristall – bewahren die ursprüngliche Zusammensetzung des Magmas und geben so Hinweise auf seine Herkunft.

Bedrohliche Änderung des Magmatyps



Analysen der Isotopen-Zusammensetzung von Schmelzeinschlüssen des am Ätna ausgetretenen Magmas durch ein französisch-italienisches Forscherteam um Pierre Schiano zeigen einen bedenklichen Trend. Ähneln die älteren Proben noch denen der Ibleischen Berge, deren Vulkanismus erloschen ist, so gleichen die jüngeren Magmen eher denen der Liparischen Inseln wie Vulcano. Das ältere Magma stammt vermutlich von einem Plume tief im Erdmantel; das jüngere ist dagegen mit Schmelze vermischt, die von einer in den Erdmantel abtauchenden Platte herrührt und den Vulkanismus auf den Liparischen Inseln speist. Dieses Magma begünstigt gefährliche explosive Ausbrüche.

anderes Bild. Einerseits besitzen sie höhere Konzentrationen an den am meisten inkompatiblen Elementen wie Cäsium, Kalium, Rubidium und Barium, andererseits sind sie stark an Niob, Titan und Zirkonium verarmt. Erstaunlich ähnliche Muster finden sich bei den Vulkanen des benachbarten Liparischen Inselbogens wie Stromboli oder Vulcano. Diese verdanken ihre Herkunft dem Abtauchen ozeanischer Kruste des ionischen Meeres in nordwestlicher Richtung unter Kalabrien.

Zeichen einer Charakteränderung

Offenbar enthalten die jüngeren Magmen des Ätna also neben dem Hot-Spot-Anteil zunehmend eine zweite Komponente der gleichen Zusammensetzung wie jene Schmelze, die bei den Liparischen Inselvulkanen austritt. Schiano und Clocchiatti sind überzeugt, dass diese Übereinstimmung nicht auf Zufall beruht und die zweite Komponente der Ätna-Magmen tatsächlich dieselbe ist, die auch Stromboli und Vulcano speist. „Wenn man bedenkt, dass der Ätna in einer sehr komplizierten Region liegt, die sich nicht mit einfachen plattentektonischen Modellen erfassen lässt“, meint Schiano, „erstaunt es mich am meisten, dass man alle Variationen auf die Mischung von nur zwei Komponenten zurückführen kann.“

Wie kommt diese Mischung zu Stande? Denkbar wäre, dass sich die beiden Komponenten an verschiedenen Orten bilden und irgendwo im Fördersystem des Ätna zusammentreffen. So könnte Magma von der Subduktionszone bei den Liparischen Inseln an tektonischen Störungen entlang zum hundert Kilometer entfernten Ätna wandern. Tatsächlich liegt dieser an einer Bruchzone, die sich bis nach Vulcano erstreckt. Dennoch scheint es eher unwahrscheinlich, dass eine unterirdische Verbindung der beiden Vulkangebiete existiert. Am meisten spricht dagegen, dass bei den geologisch jüngeren Ausbrüchen am Ätna keine Magmen mit reinem Plume-Charakter mehr ausgetreten sind.

Alternativ müsste man eine Mischung der beiden Magmaquellen selbst annehmen. Demnach wäre ein Teil der subduzierten ionischen Lithosphäre in den Einflussbereich des Ätna-Plumes gelangt und hätte sich ihm überlagert. Wie kann das geschehen sein?

Schiano und seine Mitarbeiter schlagen als einfachstes Modell vor, dass die Subduktionszone allmählich nach Süden gewandert ist. Tatsächlich lässt sich heute östlich von Kalabrien keine aktive Subduktion ionischer Lithosphäre mehr nachweisen. Seismischen Untersuchungen zufolge befindet sich der früher abgetauchte Teil der ionischen Lithosphäre (der den Vulkanismus des Liparischen Inselbogens hervorgebracht hat) nun als schmaler Streifen im Mantel unter dem östlichen und zentralen Bereich des tyrrhenischen Meeres. Dieser Streifen hat sich also vermutlich von seiner Mutterplatte abgetrennt. Er schwimmt nun sozusagen losgelöst im Mantel und taucht, sich biegend, immer tiefer ab.

Bisher scheint der Ätna der erste Vulkan zu sein, bei dem ein derartiger Übergang von einem Vulkantyp zum anderen beobachtet wurde. Laut Schiano und Clocchiatti manifestiert sich der von ihnen festgestellte chemische Trend auch in den heutigen Laven. Einige Forscher weisen zudem darauf hin, dass sich die Aktivität des Ätna seit den 1970er Jahren deutlich gesteigert hat. Dies mit der sich wandelnden Identität des Vulkans in direkte Verbindung zu bringen, wäre allerdings unangebracht. Vermutlich erleben wir nur gerade den Nachschub einer größeren Menge frischen Magmas aus dem Mantel.

Wenn der vor etwa 100 000 Jahren gestartete Prozess weitergeht, dürfte der Ätna allerdings mit der Zeit deutlich gewaltsamer ausbrechen und damit seinen relativ gutmütigen Charakter verlieren. Doch wird dies mit Sicherheit nicht von heute auf morgen geschehen. „Ein wichtiger Punkt ist“, betonen Schiano und Clocchiatti, „dass sich die beobachteten Veränderungen in geologischen Zeiträumen und nicht während eines Menschenlebens abspielen“. Einige 10 000 Jahre könnte es also schon noch dauern, bis eindeutig feststeht, ob die Forscher mit ihrer pessimistischen Prognose Recht behalten und der Ätna sich tatsächlich in eine Art zweiten Vesuv verwandelt. Bis dahin bleibt den Sizilianern reichlich Zeit, sich auf die veränderte Situation einzustellen. ■



***Tom Pfeiffer** hat in Kiel und Århus (Dänemark) Geologie und Vulkanismus studiert. Seit 1999 machten ihn zahlreiche Reisen und Forschungsaufenthalte mit verschiedenen Vulkanen, insbesondere dem Ätna und dem Kilauea, bestens vertraut. Zur Zeit promoviert er an der Universität Århus mit einer Arbeit über die Minoische Eruption auf Santorin, die vor etwa 3600 Jahren den östlichen Mittelmeerraum verwüstet hat.*

Schwangerschaftstests

Ob aus Hoffnung oder Furcht, Frauen, die sich über eine mögliche Schwangerschaft vergewissern wollen, können seit den 1980er Jahren Heimtests in der Apotheke erwerben. Experten schätzen, dass jede der etwa 22 000 Apotheken in Deutschland pro Monat durchschnittlich 14 bis 15 solche Produkte verkauft.

Diese Tests beruhen alle auf dem gleichen Prinzip, das 1980 von Unipath Ltd. in Großbritannien patentiert wurde. Urin wird auf den Gehalt an menschlichem Choriongonadotropin (hCG) geprüft, einem Schwangerschaftshormon, das die Plazenta etwa 48 Stunden nach der Einnistung einer befruchteten Eizelle produziert. Die Konzentration an hCG im Blut verdoppelt sich alle zwei bis drei Tage und erreicht ihren Höhepunkt etwa in der achten Schwangerschaftswoche. Über die Blutbahn gelangt das Hormon in die Nieren und wird dann mit dem Urin ausgeschieden.

Technisch gesehen nutzt der Test Antikörper – Y-förmige Proteine, die unseren Körper gegen die Angriffe von Viren, Bakterien oder sonstigen körperfremden Substanzen schützen, indem sie sich daran koppeln und die Stoffe so für die Zellen des Immunsystems markieren. Dabei sprechen die Antikörper sehr spezifisch auf bestimmte Stoffe an.

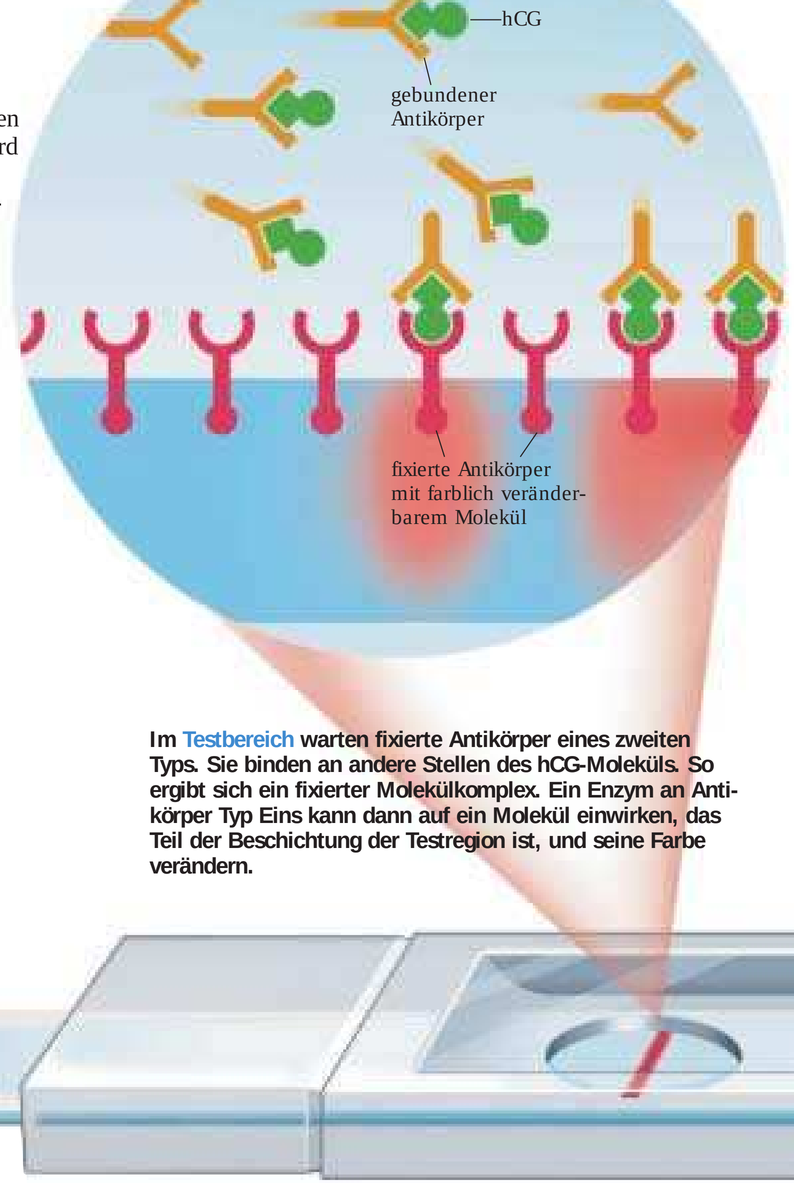
Beim Schwangerschaftstest kommen gleich drei solche Moleküle zum Einsatz, zwei, die auf hCG ansprechen, stammen von Mäusen, der dritte Antikörper von der Ziege. Zunächst wird die Urinprobe auf das untere Ende des Test-Stäbchens aufgebracht. Vorhandenes hCG bindet sich an den ersten hCG-Antikörper. Dank der Kapillarwirkung fließen gebundene und ungebundene Antikörper das Stäbchen hinauf.

Der eigentliche Testbereich enthält unbeweglich gemachte hCG-Antikörper. Sie koppeln ebenfalls an das gegebenenfalls vorhandene Hormon, und es entsteht ein fixierter, sandwichartiger Molekül-Komplex. Antikörper der ersten Sorte, die kein Hormon gebunden hatten, reisen weiter und werden vom Typ Drei abgefangen.

Eigentlich sind alle diese Substanzen farblos und klein, mithin also schwer zu entdecken. Doch ein Enzym am ersten Antikörper verändert ein weiteres Molekül, das nun Farbe zeigt. Geschieht das nur in der Kontrollregion, ist der Test negativ, hingegen sprechen farbige Streifen in Test- und Kontrollregion für eine Schwangerschaft.

Die Autorin **Rebecca Lipsitz**
ist Mitarbeiterin von Scientific American.

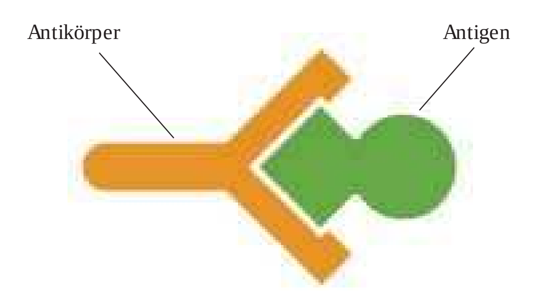
Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*



Eine Urinprobe wird auf das untere Ende des Teststäbchens getropft. Ist das Hormon hCG vorhanden, koppeln gelöste Antikörper an. Gebundene und freie Antikörper (gelb) werden dann von Kapillarkräften das Stäbchen hinauf gezogen.

Im Testbereich warten fixierte Antikörper eines zweiten Typs. Sie binden an andere Stellen des hCG-Moleküls. So ergibt sich ein fixierter Molekülkomplex. Ein Enzym an Antikörper Typ Eins kann dann auf ein Molekül einwirken, das Teil der Beschichtung der Testregion ist, und seine Farbe verändern.

GRAFIKEN: GEORGE RETSECK UND BRIAN CHRISTIE



Antikörper sind Schutzproteine, die das Immunsystem produziert. Ihre Form ist im Prinzip stets gleich, aber kleine Abweichungen ermöglichen, Antigene (Fremdsubstanzen) spezifisch zu erkennen und zu binden. Der Schwangerschaftstest nutzt Antikörper von Mäusen.

ungebundener Antikörper

fixierte Antikörper mit farblich veränderbarem Molekül

Wussten Sie schon ... ?

➤ Empfindliche Tests weisen hCG schon bei einer Konzentration nach, die etwa zehn Tage nach der Befruchtung erreicht wird (25 tausendstel internationale Einheiten pro Milliliter Urin). Das entspricht ungefähr dem Tag, an dem normalerweise die Menstruation einsetzen würde.

➤ Laut Herstellerangaben etwa zum Fem-Test (Chefaro Pharma AG) oder Clear Blue (Unipath) beträgt die Zuverlässigkeit des Nachweises bei sachgemäßem Gebrauch mehr als 99 Prozent.

➤ Frühtests versprechen verlässliche Aussagen auch bis zu einer Woche vor dem Ausbleiben der Periode. Ein positives Ergebnis ist aber mit Vorsicht zu bewerten, denn 50 bis 60 Prozent der schon eingenisteten Embryonen werden in dieser Zeit wieder ausgespült.

➤ Mittels hCG-Gaben versuchen Ärzte bei Unfruchtbarkeit einen Eisprung auszulösen. Ein Schwangerschaftstest sollte dann erst 14 Tage nach der letzten Injektion erfolgen.

➤ Labortests beruhen auf dem gleichen Verfahren und liefern kaum mehr Genauigkeit.

➤ Im Alten Ägypten wurde Urin einer möglicherweise Schwangeren über Getreidekörner ausgegossen – trieben diese aus, galt das als Indiz.

Wir laden unsere Leser herzlich ein, zu dieser Rubrik beizutragen. Bitte senden Sie Themenvorschläge an:
linsmeier@spektrum.com

Ungebundene Antikörper bewegen sich weiter das Stäbchen hinauf in den Kontrollbereich, wo sie von einer dritten Antikörperart gebunden werden. Wiederum verursacht das mitgeführte Enzym eine Farbänderung, jedoch beweist das nur, dass sich die Moleküle erwartungsgemäß verhalten, auf eine Schwangerschaft kann man daraus nicht schließen.

Wrack im Tank

Fast zwanzig Jahre verbrachte das Wrack einer mittelalterlichen Kogge aus dem Jahr 1380 im Konservierungstank. Jetzt endlich scheint das Schiff vor dem Verfall bewahrt.

Von Klaus-Dieter Linsmeier

Dickbauchige Segelschiffe trotzten im Mittelalter den Stürmen von Nord- und Ostsee – die Koggen. Sie waren die „Jumbos" ihrer Zeit: handwerkliche Meisterwerke auf der einen, Massengutfrachter der Hanse auf der anderen Seite. Und doch blieb von ihnen nicht viel mehr als bildliche Darstellungen und Erwähnungen in Urkunden und anderen Texten. Bis im Oktober 1962 beim Baggern in der Weser unterhalb der Bremer Altstadt ein hölzernes Wrack zu Tage kam. Ein Glücksfall: Sedimente hatten den Rumpf bedeckt und sein Holz großteils über Jahrhunderte geschützt – vor Strömungen und Verrottung.

Dieser erste Fund einer mittelalterlichen Kogge zeigte nicht nur den Archäologen, wie der einst wirtschaftlich so erfolgreiche Schiffstyp gebaut war, wie viel er zu laden vermochte und wie eine Kogge segelte. Das Wrack zu konservieren erforderte auch neue technische Verfahren, die noch anderen Projekten zugute kamen. Heute gilt als sicher: Die Behandlung ist gelungen, das wertvolle Schiff wird die nächsten Jahrhunderte überstehen.

Spannend war schon die Bergung des Wracks: Sie musste zügig vonstatten gehen, denn die Bagger sollten weiterarbeiten und die Tideströmung zerrte am Schiff; zudem drohte der Winter mit Stürmen und Eisgang. Nach und nach bargen der Kunsthistoriker Siegfried Fliedner vom Bremer Landesmuseum und seine Mitarbeiter Balken und Planken und legten sie in mit Wasser gefüllte Wannen, um sie vor Austrocknung und Zerfall zu schützen. Nach der eigentlichen Bergung war das Team noch drei Sommer lang im Einsatz, zuletzt barg es kleinere Schiffsteile und Werkzeuge mit einer Tauchglocke.

Das Land Bremen brachte seinen größten archäologischen Schatz in das Deutsche Schiffahrtsmuseum (DSM) in Bremerhaven; man hatte dort eigens eine Halle errichtet, um dem einstigen Hansestolz ein angemessenes Zuhause zu geben und ihn der Forschung, aber auch der Bevölkerung zugänglich zu machen. Zehn Jahre nach der Entdeckung des Wracks konnten so die Behälter mit ihrem mittelalterlichen Puzzle nach Bremerhaven umziehen.

Auch wenn der Schlick den Sauerstoff vom Holz fernhielt, sodass Mikroorganismen keine günstigen Bedingungen vorfanden, waren die Artefakte doch mehr oder weniger stark angegriffen. Das sieht man solchen Funden nicht unbedingt an, denn Wasser füllte die Hohlräume in den teilweise zerstörten Holzzellen. Wenn es verdunstet, geht diese Stütze verloren. Zudem zerrt die Oberflächenspannung des Wassers an den verbliebenen Strukturen, bis sie schließlich einstürzen. Wer das verhindern will, muss deshalb künstliche Stützmittel einbringen.

Die Kogge-Experten steckten in einer Zwickmühle: Mit welchem Mittel man die Planken auch behandeln würde, sie verlören die für den Zusammenbau unerlässliche Biegsamkeit. Würde das Schiff stattdessen vor der Konservierung

GLOSSAR

Die Hanse

Im Bereich von Nord- und Ostsee kooperierten reisende Fernhändler zum gegenseitigen Schutz in einer losen Vereinigung, die sie „Hanse" nannten (altgermanisch für „Schar"). Mit der Gründung von Städten entlang der Ostseeküste im 12. und 13. Jahrhundert erwuchs daraus eine Handelsgemeinschaft, die von Norddeutschland sowie dem Baltikum aus mit Skandinavien, Frankreich, Russland, England und Flandern Handel trieb. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts wurden die Privilegien der Hanse immer weniger lukrativ, und sie löste sich bis 1669 auf.

Die Kogge

Als Massengutfrachter der Hanse dienten Koggen, hochbordige und massive Schiffe mit hoher Ladekapazität. Berichte sprechen von 100 bis 120 Weinfässern mit jeweils einer Tonne Gewicht. Die Schiffe brachten Getreide, Pelze, Wachs und Holz von den Ostseeländern nach Westen; Tuche, Waffen, Hausgerät und vor allem Salz zum Einlegen von Fleisch und Fisch in die wachsenden Städte im Osten sowie Stockfisch, Heringe und Eisen von Skandinavien auf den Kontinent. Sie trugen allerdings nur einen Mast und ein Segel und als technische Neuerung seit 1170 ein Steuerruder mittig am Heck.



Der Bremer Hansekogge verdankt die Archäologie wertvolle Einsichten in die mittelalterliche Schiffstechnik. Für die Konservatoren war sie Herausforderung und Experimentierfeld.

DEUTSCHES SCHIFFAHRTSMUSEUM

rekonstruiert, drohte das trocknende Holz zu schrumpfen und zu reißen. Der Ausweg aus diesem Dilemma: eine Rekonstruktion in künstlichem Nebel.

Sieben Jahre lang setzten Schiffbaumeister Werner Lahn und seine Mitarbeiter die mehr als 2000 Puzzleteile unter erschwerten Bedingungen zusammen: Vor dem Arbeitsbeginn und in den Pausen sorgten rund fünfzig Sprühköpfe dafür, dass die Luftfeuchtigkeit nie unter 96 Prozent sank. Nach und nach entstand ein Schiff von fast 24 Metern Länge und maximal sieben Metern Höhe. Die Schiffsarchäologen jubelten, denn nun ließ sich die Konstruktion einer Kogge genauer untersuchen. Ihr Boden war flach, also für das Befahren der Küstengewässer geeignet. Eine Datierung mittels Dendrochronologie ergab: Die Bäume, aus denen Kiel, Steven und Querbalken gebeilt worden waren, hatte man im Herbst 1378 im Weserbergland geschlagen. Das Schiff trug vermutlich einen Mast und war wohl mit einem Steuerruder in der Mitte des Hecks ausgerüstet.

Experten von der Universität Hamburg, aus Stockholm und Kopenhagen glaubten, Polyethylenglykol (PEG) sei prinzipiell das Konservierungsmittel der Wahl, ein farbloses und wasserlösliches Kunstwachs, chemisch beständig, preiswert und einfach zu handhaben; es dient auch zur Stabilisierung von frischem Holz etwa bei Furnieren. Die Überlegung war: Legt man wassergesättigtes archäologisches Holz in eine PEG-Lösung, so sollte das Mittel in das Holz hineinwandern und dabei einen Teil des Wassers ersetzen. Beim Trocknen würde sich das Wachs schließlich in und auf den Zellwänden abscheiden, erstarren und die geschwächte Struktur somit stärken.

Allerdings gibt es nicht nur eine Art von Polyethylenglykol, sondern mehrere, ▶

die sich hinsichtlich der Molekülgröße unterscheiden. Und es waren nicht alle Hölzer und Holzbereiche gleich stark vom mikrobiellen Abbau angegriffen. Die obigen Überlegungen dürften wohl besonders auf hochmolekulares PEG 3000 oder 4000 zutreffen, da es bei Raumtemperatur fest wird (die Zahl gibt jeweils das Molekulargewicht an, das auf Grund unterschiedlicher Molekülgrößen differiert). Doch würde es auch in noch wenig angegriffenes Holz eindringen? Bei niedermolekularem PEG 200 oder 400 stand das nicht in Frage, doch schien das kaum geeignet, da es flüssig bleibt und zudem Wasser aufnimmt – damit getränkte Hölzer würden vermutlich nie richtig trocken.

Und dann war da noch ein Problem: Wie sollte man ein so großes Schiff überhaupt mit dem Konservierungsmittel behandeln? Die Konservatoren in Stockholm besprühten zu dieser Zeit das Wrack der Vasa mit einer Lösung aus hochmolekularem PEG; 175 Sprühköpfe waren außen um den Rumpf und 192 im Schiff installiert. Aber würden sie wirklich alle Ecken und Winkel erfassen? Die Hamburger Wissenschaftler schlugen vor, die Kogge zunächst in PEG 1000 zu tauchen, einem Polyethylenglykol mit mittelgroßen Molekülen, das nicht zu hygroskopisch ist. Als Tränkdauer veranschlagten sie – dreißig Jahre.

Die größte Wanne der Welt

Also wurde 1981 ein Konservierungstank um das rekonstruierte Schiff herum gebaut, der größte der Welt. 800 Kubikmeter Wasser liefen in das Becken, dann kam nach und nach PEG dazu. Der Etat reichte lediglich für vierzig Tonnen pro Jahr, das entsprach einer Erhöhung der Konzentration des Bades um jeweils fünf Prozent. Eine 60-prozentige Lösung war das Ziel.

Als der Konservator des Museums, Per Hoffmann, Probestücke auswertete, gab er Alarm, denn es war viel zu wenig Wachs eingedrungen! In Versuchsreihen erkundete er an verschieden stark abgebauten archäologischen Eichenhölzern die Wirkung verschiedener PEG-Varianten. Die Ergebnisse waren eindeutig und eigentlich absehbar: Stark abgebautes Material lässt sich am besten mit hochmolekularem, fest werdendem PEG 3000 stabilisieren. Für weitgehend intaktes Holz eignen sich die Sorten 200 oder 400. Mittlere Molekulargewichte wie das bislang vorgesehene erwiesen sich hingegen in beiden Fällen als unbrauchbar.

Nun wurde ein Zwei-Stufen-Tränkverfahren konzipiert: Erst PEG 200, dann PEG 3000. Das würde aber fast doppelt so viel Konservierungsmittel

INTERVIEW

Meilenstein Bremer Kogge

Über die Bedeutung der Bremer Hanse-Kogge sprach „Spektrum der Wissenschaft“ mit Detlev Ellmers, bis vor kurzem geschäftsführender Direktor des Deutschen Schiffahrtsmuseums in Bremerhaven. Der Schiffsarchäologe lehrte zudem Transportgeschichte an der Hochschule Bremerhaven.

Spektrum der Wissenschaft: *Fast vierzig Jahre verstrichen vom Fund der Bremer Kogge bis zum Abschluss der Konservierungsarbeiten. Ist das nicht unglaublich lang?*

Ellmers: Gemessen an den Schwierigkeiten, die sich da auftaten, war das sogar ziemlich schnell. Schiffe sind nun einmal die größten frei beweglichen Gegenstände, die der Mensch je geschaffen hat. Niemand kann sich auf einen solchen Fund vorbereiten, und jedes Wrack stellt seine eigenen Anforderungen. Außerdem dürfen Sie nicht vergessen, dass viele Methoden der Schiffsarchäologie erst an diesem Fund erarbeitet werden mussten.

Spektrum: *Sie haben als Geschäftsführer des Museums die Arbeiten an der Kogge über lange Zeit begleitet. Welche Bedeutung hatte das Schiff für Sie selbst?*

Ellmers: Es brachte mich auf die Idee, mich auf die Schiffsarchäologie zu spezialisieren. Ich war damals der erste Archäologe dieser Art in der Bundesrepublik. Und als das neu gegründete Deutsche Schiffahrtsmuseum seinen ersten leitenden Direktor suchte, hatte ich den entscheidenden Vorteil.

Spektrum: *Sogar in einem Museum haben Sie etwas quasi ausgegraben?*

Ellmers: Ein bearbeitetes Stück Rentiergeweih, das im Archäologischen Landesmuseum in Schleswig aufbewahrt wird, erkannte ich 1980 als Spant eines Fellbootes. Damit sind Rentierjäger bereits vor über 10 000 Jahren auf die Jagd gegangen. Es ist das älteste Boot der Welt, von dem sich etwas erhalten hat.



Spektrum: *Zurück zur Kogge von 1380. Weiß man nach der Auswertung des Bremer Fundes nun alles über diesen Schiffstyp oder gibt es noch offene Fragen?*

Ellmers: Die Fragen zur Bauweise, zur Schiffstechnik sind mittlerweile weitgehend geklärt. Und von der Konstruktion ausgehend lässt sich die Entwicklung des Typs Kogge bis in vorgeschichtliche Zeit zurückverfolgen. Nachbauten der Bremer Kogge lieferten uns wertvolle Hinweise, wie sich das Schiff segeln und steuern ließ.

Spektrum: *Bei dem Begriff Archäologie denken viele wohl zunächst an das Ausgraben ehemaliger Siedlungen und Gräber, wenige an das Bergen von Wracks. Fehlt der Schiffsarchäologie die Öffentlichkeit?*

Ellmers: Im Gegenteil, zumindest die großen Funde wie Wikingerschiffe oder unsere Kogge ziehen immer viel Aufmerksamkeit auf sich.

Spektrum: *Sie verabschieden sich gerade in den Ruhestand. Welche Fragen Ihrer Zunft hätten Sie gern noch gelöst?*

Ellmers: Mein Interesse galt nicht nur der Technik archäologischer Schiffe, sondern vor allem den Menschen, die sich mit ihnen aufs Wasser wagten, fischten und jagten, Handel trieben oder auf Erkundungsfahrt gingen. Sie besser zu verstehen und ihr Leben zu erforschen, wird mich auch jetzt nicht loslassen.

FOTOS: EGBERT LASKA, DSM

Ein seltsames Wrack kam im Jahr 1962 bei Baggerarbeiten in der Weser bei Ebbe zum Vorschein. Der Bremer Historiker Siegfried Fliedner identifizierte es als mittelalterliche Kogge. Unten: Ein Helmtaucher birgt schwere Konstruktionshölzer der Kogge.



verbrauchen, und das zweite Bad müsste über Jahre beheizt werden, um das Wachs flüssig zu halten. Doch die für die Finanzierung zuständigen Gremien ließen sich überzeugen.

Zweimal im Jahr brachte ein Lastzug 20 Tonnen flüssiges PEG 200, 15 Jahre lang. Die Museumsbesucher konnten das Prozedere von einer Galerie aus durch große Fenster im Becken beobachten. Scheinwerfer hingen im Wasser, und die Besucher erkannten in einem grünen, geheimnisvollen Dämmerlicht dunkle Balken und Teile der Bordwand.

Diesmal zeigten Proben, dass die Konservatoren auf dem richtigen Weg waren. Ihre Erfahrung kam anderen Projekten zugute: beispielsweise bei der Konservierung eines hundert Jahre alten Torf-Frachters, den Bauern im Teufelsmoor bei Bremen aus einem verlandeten Kanal ausgegraben hatten. Bis ihnen der alarmierte Landrat erläuterte, gegen welche Paragrafen des Denkmalschutzgesetzes sie verstießen, fuhren sie darauf mit Bier und Musik einen Fluss hinab. Offensichtlich war das Holz sehr gut erhalten, und Per Hoffmann empfahl eine Sprühbehandlung mit PEG 200. Das Straßenbauamt des Kreises Osterholz baute zu diesem Zweck ein Zelt auf, richtete darin eine Pumpe und ein System von Rasensprengern ein und besprühte das Schiff mehrere Jahre lang – eine elegante und preiswerte Methode.

Ungewöhnlich gestaltete sich die Konservierung eines Küstenseglers aus der Renaissance, den man bei Husum entdeckt hatte. Unter Federführung von Hans Joachim Kühn vom Archäologischen Landesamt Schleswig-Holstein wurde er in einer Zuckerlösung behandelt. Der süße Stoff kann in stark wie auch in wenig abgebautes Holz eindringen, kristallisiert beim Trocknen aus und stabilisiert so die Struktur. 100 000 Kilogramm Rübenzucker von Speisequalität wurden in heißem Wasser aufgelöst, 85 000 Liter dünner Sirup in einen Tank gefüllt. Zwei Jahre lang befürchtete man, dass Hefen und Bakterien trotz Mikrobiozid-Zugabe die Lösung befallen können. Heute jedoch steht der Segler im Schifffahrtsmuseum Husum.

270 Tonnen Wachs und 130 Tonnen Schrott

Und die Bremerhavener Kogge? Nach 15 Jahren wurde das erste Bad abgelassen, und zwar so langsam, dass die biologischen Klärstufen der Stadt den ungewohnten Stoff zu verdauen vermochten – sie als Sondermüll zu verbrennen, hätte eine halbe Million Euro gekostet. Für das zweite Bad mit PEG 3000 legten die Mitarbeiter des Museums 250 Meter Warmwasser-Schläuche unter dem Schiff aus und schlossen sie an die hauseigene Zentralheizung an. Insgesamt brachten 13 Tanklaster in den nächsten Jahren 270 Tonnen geschmolzenes Wachs, das bei 40 Grad Celsius flüssig blieb. Als das Konservierungsziel erreicht war, kamen Stahlarbeiter einer benachbarten Werft, um das Konservierungsbecken in 130 Tonnen Schrott zu zerlegen, ohne dass Stahlstücke oder Tropfen flüssigen Stahls auf das Schiff fielen.

Weihnachten 1999 stand die Kogge endlich frei im Museum. Eine weiße Kruste aus Polyethylenglykol bedeckte das Holz, doch nach einer behutsamen Reinigung mit Dampfstrahler, Bürsten, Schwämmen und Spateln kam sein warmer dunkelbrauner Farbton zum Vorschein.

Die Konservatoren waren zufrieden. Die Holzteile der Kogge zeigen ihre alte Oberfläche mit allen Spuren einstiger Bearbeitung, und das Schrumpfen hält sich in engen Grenzen. Freilich lassen sich Überraschungen in den nächsten Jahren nicht ganz ausschließen – wie bei der schwedischen Vasa: Im Holz eingelagerter Schwefel oxidiert zu Schwefelsäure und droht das prunkvolle Schiff von innen heraus zu zerstören.

Dieses Restrisiko schreckte internationale Gremien nicht ab, schon jetzt die konservatorischen Leistungen zu ehren. So erhielt die Kogge als „Schiff des Jahres 2001“ den International Maritime Heritage Award, eine Auszeichnung des World Ship Trust für die Erforschung und Konservierung historischer Schiffe. Dem Konservator Per Hoffmann wurde der Conservation and Heritage Management Award des Archaeological Institute of America verliehen. Der Experte ist freilich längst damit beschäftigt, sein Verfahren weiterzuentwickeln und kostengünstiger zu machen. Fast zwanzig Jahre im Tank – das dürfte in unserer schnelllebigen Zeit nur noch sehr schwer durchsetzbar sein. ■

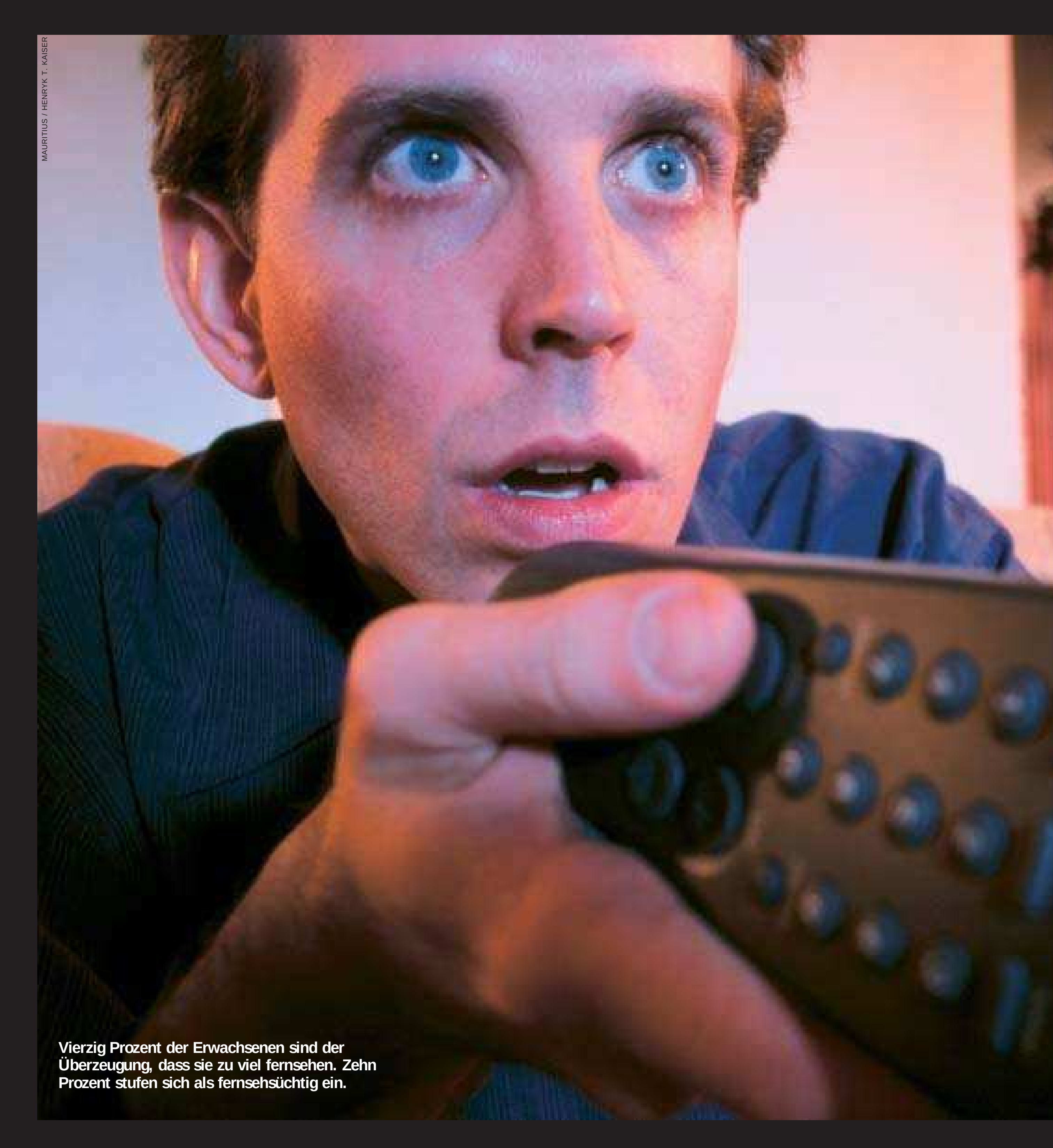
Literaturhinweis

Die Hanse-Kogge von 1380. Von K.-P. Kiedel und U. Schnall (Hg.). Bremerhaven 2000.

Weblinks bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*

Klaus-Dieter Linsmeier *ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.*

Wenn Fernsehen zur



MAURITIUS / HENRYK T. KAISER

Vierzig Prozent der Erwachsenen sind der Überzeugung, dass sie zu viel fernsehen. Zehn Prozent stufen sich als fernsehsüchtig ein.

Droge wird



Wer seine Freizeit größtenteils vor dem Bildschirm verbringt, zeigt Merkmale eines Suchtverhaltens. Von dieser Abhängigkeit kann man sich befreien – sofern man ihre Mechanismen durchschaut und bereit ist, mit Gewohnheiten zu brechen.

Von Robert Kubey und Mihaly Csikszentmihalyi

Nicht nur chemische Substanzen können süchtig machen: Manche Menschen werden von Spielautomaten magisch angezogen, andere sind von sexuellen Begierden wie besessen. Doch ein suchtähnliches Verhalten fällt durch seine Allgegenwart aus der Reihe – die beliebteste Freizeitaktivität der Welt, das Fernsehen.

Die meisten Menschen pflegen ihm gegenüber eine Art Hassliebe: Fernsehen sei verlorene Zeit, sagen sie und halten nicht viel von „Couch Potatoes", die stundenlang „vor der „Glotze hängen" – aber dann machen sie es sich selbst auf dem Sofa gemütlich und greifen zur Fernbedienung. Viele Eltern sorgen sich um den Fernsehkonsum ihrer Kinder, wenn schon nicht um ihren eigenen. Sogar Sozialwissenschaftler, die sich berufsmäßig mit dem Fernsehen beschäftigen, staunen immer wieder, wie das Medium sie selbst in seinen Bann zieht. Percy Tannenbaum von der Universität von Kalifornien in Berkeley schreibt: „Zu den eher peinlichen Momenten im Leben gehören für mich die unzähligen Gelegenheiten, bei denen während des Gesprächs ein Fernseher lief und ich beim besten Willen nicht umhin konnte, von Zeit zu Zeit einen Blick darauf zu werfen. Das passiert mir nicht nur bei langweiligen Gesprächen, sondern auch bei durchaus interessanten."

Seit Jahrzehnten werden die Auswirkungen des Fernsehkonsums wissenschaftlich untersucht, insbesondere die Frage, ob der häufige Anblick von Gewalt im Fernsehen zu gewalttätigem Verhalten führt. Weniger Aufmerksamkeit widmete ▸

man dem verführerischen Reiz der Mattscheibe selbst, das heißt, dem Medium im Gegensatz zur Botschaft.

Der Ausdruck „Fernsehsucht" ist sicherlich unpräzise und keineswegs wertfrei, doch er trifft den Kern eines echten Phänomens. Psychologen und Psychiater definieren „Abhängigkeit" als eine Störung mit folgenden Merkmalen: Der Betroffene verbringt einen großen Teil seiner Zeit mit dem Konsum des Suchtmittels; er konsumiert es häufiger als er eigentlich will; er denkt daran, den Konsum zu reduzieren oder unternimmt wiederholt erfolglose Versuche dazu; er gibt wichtige soziale, familiäre oder berufliche Tätigkeiten auf, um das Suchtmittel zu konsumieren; und er berichtet von Entzugserscheinungen bei Einstellung des Konsums.

All diese Kriterien können auf Vielseher durchaus zutreffen. Das heißt nun nicht, dass Fernsehen an sich problematisch sein muss. Es kann belehren und unterhalten, es kann ästhetische Ansprüche befriedigen, und es kann zu dringend benötigter Ablenkung und Zerstreuung verhelfen. Zum Problem wird es erst, wenn Menschen genau spüren, dass sie weniger fernsehen sollten, und es trotzdem nicht schaffen. Etwas Hintergrundwissen über die Anziehungskraft des Mediums kann helfen, es besser in den Griff zu bekommen.

Fernsehen verschlingt erstaunlich viel Zeit. Die Menschen in den Industrieländern opfern dafür im Mittel drei Stunden täglich – die Hälfte ihrer Freizeit und mehr als für jede andere Einzelaktivität außer Arbeiten und Schlafen. Wer dies 75 Jahre lang durchhält, hat volle neun Jahre seines Lebens vor der Mattscheibe gesessen. Gibt sich der Mensch womöglich einfach deshalb dem Fernsehen hin, weil es ihm Spaß macht und er sich bewusst dafür entscheidet? Wenn dem so wäre, warum bereitet der Fernsehkonsum dann so vielen Menschen ein schlechtes Gewissen? In Umfragen des Gallup-Instituts aus den Jahren 1992 und 1999 gestanden vierzig Prozent der Erwachsenen und siebzig Prozent der Jugendlichen: „Ja, ich sehe zu viel fern". Andere Studien ergeben übereinstimmend, dass zehn Prozent der Erwachsenen sich als fernsehsüchtig einstufen.

Literaturhinweise

Internet Use and Collegiate Academic Performance Decrements: Early Findings. Von Robert Kubey, Michael J. Lavin und John R. Barrows in: Journal of Communication, Bd. 51, S. 366 (2001).

The Limited Capacity Model of Mediated Message Processing. Von Annie Lang in: Journal of Communication, Bd. 50, S. 46 (2000).

Television Dependence, Diagnosis, and Prevention. Von R. Kubey in: Tuning in to Young Viewers: Social Science Perspectives on Television. T. M. MacBeth (Hg.). Sage, 1995.

Television and the Quality of Life: How Viewing Shapes Everyday Experience. Von Robert Kubey und Mihaly Csikszentmihalyi. Lawrence Erlbaum Associates, 1990.

Weblinks finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft".*

Fernsehen entspannt – solange es läuft

Um mehr über die Reaktionen des menschlichen Körpers auf das Fernsehen herauszufinden, beobachteten einige Forscher bei Versuchspersonen, die im Dienst der Wissenschaft in die Röhre guckten, die Hirnstromkurven mittels Elektroenzephalogramm (EEG) sowie den Hautwiderstand und die Herzfrequenz. Wir wollten hingegen Verhalten und Emotionen lieber im normalen Alltagsleben erfassen statt unter künstlichen Laborbedingungen; zu diesem Zweck benutzten wir die Erlebens-Stichproben-Methode (englisch *Experience Sampling Method*, ESM). Unsere Testpersonen trugen eine Woche lang einen Pieper bei sich, und wir piepten sie sechs- bis achtmal pro Tag an, damit sie jeweils auf einer standardisierten Auswertungskarte notierten, was sie gerade taten und wie sie sich fühlten.

Wie nicht anders zu erwarten, berichteten die Probanden, die gerade fernsahen, von einem entspannten und passiven Gemütszustand. Überraschend ist jedoch folgendes Resultat: Sobald der Ausschaltknopf gedrückt wird, bricht das Gefühl von Entspannung ab, aber der Eindruck von Passivität und reduzierter Wachheit besteht weiter fort. „Es ist, als ob das Fernsehen meine Energie absorbiert oder aussaugt und mich irgendwie leer zurücklässt", meinten Teilnehmer der Studie. Allgemein gaben die Probanden an, sich nach dem Fernsehen schlechter konzentrieren zu können als vorher. Hingegen erwähnten sie nach dem Lesen nur selten solche Schwierigkeiten. Nach Sport oder Ausüben eines Hobbys berichteten die Teilnehmer meist von einer Verbesserung ihrer Stimmungslage. Nach Fernsehkonsum blieb die Laune ungefähr gleich oder verschlechterte sich sogar.

Kaum sitzen die Menschen vor dem Gerät und drücken den Einschaltknopf, schon geben sie an, sich entspannter zu fühlen. Weil die Entspannung rasch einsetzt, wird der Fernsehkonsument darauf konditioniert, das Pantoffelkino mit Beruhigung und Spannungsabbau zu assoziieren. Diese Assoziation wird positiv verstärkt, weil der Zuschauer entspannt bleibt, solange er fernsieht – und sie wird negativ verstärkt durch den Stress und das missmutige Grübeln, die sofort nach dem Ausschalten einsetzen.

Ganz ähnlich wirken süchtig machende Substanzen. Ein Tranquilizer,

MAURITIUS / P. HATTENBERGER

Vor allem durch formale Abwechslung – raschen Bildwechsel, harte Schnitte, plötzliche Geräusche – fesselt das Fernsehen die Aufmerksamkeit.

dessen Wirkung rasch nachlässt, führt viel eher zur Abhängigkeit als ein Beruhigungsmittel mit langsam abnehmender Wirkung, weil dem Benutzer im ersten Fall das nahende Ende des Wohlgefühls stärker bewusst wird. Vermutlich ist auch die erlernte Vorahnung des Fernsehkonsumenten, dass er sich weniger entspannt fühlen wird, wenn er ausschaltet, ein wichtiger Grund dafür, nicht auszuschalten. Fernsehen verlangt förmlich nach mehr Fernsehen.

Die Ironie liegt darin, dass man viel länger fernsieht als geplant, obwohl längeres Zusehen weniger Befriedigung verschafft: Je länger die Probanden unserer ESM-Studien vor der Röhre saßen, umso weniger hatten sie nach eigenen Aussagen davon. Die Auswertungskarten ergaben, dass Vielseher – das heißt solche, die Tag für Tag mehr als vier Stunden fernsahen – eher weniger Freude an den bunten Bildern hatten als Wenigseher, die höchstens zwei Stunden täglich vor dem Gerät verbrachten. Bei manchen trübt offenbar auch ein gewisses Unbehagen oder Schuldgefühl – man hätte die Zeit sinnvoller nutzen sollen – das ausgedehnte Fernsehvergnügen. Nach Untersuchungen in den USA, Japan und Großbritannien tritt dieses schlechte Gewissen viel häufiger bei Angehörigen der Mittelschicht auf als bei weniger wohlhabenden Vielsehern.

Im Bann der bunten Bilder

Was macht denn nun die geradezu magische Anziehungskraft des Fernsehens aus? Zum Teil scheint daran die biologische „Orientierungsreaktion“ schuld zu sein, die der russische Physiologe Iwan Pawlow (1849–1936) erstmals 1927 beschrieben hat: Unsere Augen und Ohren wenden sich instinktiv jedem plötzlichen oder unbekannten Reiz zu. Dies ist Teil unseres evolutionären Erbes – eine Art eingebauter Sensor für überraschende Bewegungen und mögliche räuberische Gefahren. Bei einer typischen Orientierungsreaktion erweitern sich die zum Gehirn führenden Blutgefäße, das Herz schlägt langsamer, während Blutgefäße, die große Muskelgruppen versorgen, sich zusammenziehen. Kurz, das Gehirn konzentriert sich auf die Aufnahme zusätzlicher Informationen, während der restliche Körper ruht.

1986 untersuchten Byron Reeves von der Stanford University und Esther Thorson von der Universität von Missouri, ob formale Gestaltungsmerkmale – Schnitt, Montage, Zoom, Kameraschwenk, plötzliche Geräusche – die Orientierungsreaktion auslösen und dadurch die Aufmerksamkeit fesseln. Aus dem EEG ihrer Probanden schlossen die Forscher, dass solche stilistischen Tricks tatsächlich unwillkürliche Reaktionen auslösen können und „ihren Aufmerksamkeitswert aus der evolutionären Bedeutung des Entdeckens von Bewegung beziehen... Nicht der Inhalt, sondern die Form des Fernsehens ist einzigartig.“

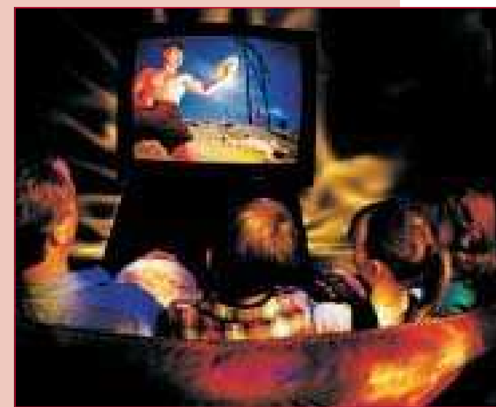
Die Orientierungsreaktion mag zum Teil Bemerkungen erklären wie: „Wenn ein Fernseher läuft, muss ich einfach hinschauen“, „Ich will ja gar nicht so viel fernsehen, aber ich kann es nicht lassen“ oder „Ich fühle mich davon wie hypnotisiert.“ Seit Reeves und Thornton ihre Pionierarbeit veröffentlichten, hat die Forschung weitere Erkenntnisse zu Tage gefördert: Annie Lang von der Indiana University konnte zeigen, dass sich der Puls nach einem Orientierungsstimulus vier bis sechs Sekunden lang verlangsamt. In Werbespots, Actionszenen und ▶

Erste Schritte gegen die Fernsehsucht

Sie wollen Ihren Fernsehkonsum und den Ihrer Familie besser in den Griff bekommen? Versuchen Sie es mit folgenden Strategien:

➤ **Bewusster fernsehen:** Wie bei anderen Abhängigkeiten ist es zunächst entscheidend, sich bewusst zu machen, wie sehr das Fernsehen bereits zur Gewohnheit wurde, wie viel Zeit es verschlingt und wie wenig Gewinn man tatsächlich davon hat. Unser Vorschlag: Führen Sie einige Tage lang Tagebuch über alle gesehenen Sendungen und bewerten Sie jeweils, wie viel Genuss oder Information sie Ihnen verschafften.

➤ **Andere Tätigkeiten verstärken:** Kaum ist das Abendessen abgeräumt, schon lässt sich die gesamte Familie vor dem Fernseher nieder. Fördern Sie andere Aktivitäten, indem Sie eine Liste mit Alternativen an den Kühlschrank heften. Anstatt automatisch vor die Glotze zu sinken, sucht jeder Interessierte sich Anregungen von der Liste.


CHIP SIMONS

➤ **Willenskraft trainieren:** Oft merkt man schon in den ersten Minuten, dass der Film das Anschauen nicht lohnt – doch, statt auszuschalten, bleibt man geschlagene zwei Stunden davor sitzen. Es ist ganz natürlich, dass wir wissen wollen, was als Nächstes passiert. Sobald allerdings der Fernseher nicht mehr läuft, verlieren wir das Interesse daran, und unsere Aufmerksamkeit wendet sich anderen Dinge zu.

➤ **Grenzen setzen:** Ein Küchenwecker ist nützlich, um die Zeit zu begrenzen – vor allem bei Videospielen. Kinder wissen: Wenn es klingelt, ist Schluss. Das funktioniert meist viel besser, als wenn die Eltern „ausmachen“ rufen. Kinder nehmen das Weckerklingeln ernster.

➤ **Kanäle blockieren:** Moderne Fernsehgeräte sind mit einem Mikrochip ausgestattet, mit dem sich das Betrachten gewalttätiger Sendungen verhindern lässt. Elektronische Zusatzgeräte können die Stunden zählen, die jedes einzelne Familienmitglied vor dem Fernseher verbringt, und nach einer vorprogrammierten Zeit den Zugang sperren.

➤ **Selektiv fernsehen:** Statt durch sämtliche Kanäle zu zappen ist es sinnvoller, vorher in einer Programmzeitschrift einzelne Sendungen auszuwählen.

➤ **Den Videorecorder verwenden:** Zeichnen Sie Sendungen auf Video auf, anstatt sich sofort vor den Fernseher zu setzen. Häufig kommt man später gar nicht dazu, sich die Bänder anzusehen.

➤ **Entwöhnungskur:** In vielen Familien hat es sich bewährt, nur ein einziges Fernsehgerät aufzustellen, und zwar in einem separaten Zimmer oder in einem Schrank. Andere kündigen ihre Kabel-Abonnements oder schaffen den Flimmerkasten ganz ab.

➤ **Medienerziehung fördern:** Schulen in Kanada und Australien sowie in immer mehr US-Bundesstaaten geben Unterricht im Fach Medienerziehung. Die Schüler lernen, Gesehenes und Gehörtes zu analysieren; sie können dadurch das Fernsehen und andere Medien bewusster nutzen.

Musikvideos wechseln sich die formalen Merkmale oft im Sekundentakt ab, und die Orientierungsreaktion wird ununterbrochen aktiviert.

Lang und ihre Kollegen untersuchten auch, ob formale Tricks die Erinnerung an das Gesehene verstärken. Tatsächlich verbessert eine aufwendige Montagetechnik – mit häufigem Wechsel der Kameraperspektive innerhalb derselben Spielszene – das spätere Wiedererkennen. Auch häufigere Schnitte – Wechsel zu einer neuen Spielszene – haben ähnliche Wirkung, allerdings nur bis zu einem gewissen Grad: Bei mehr als zehn Schnitten in zwei Minuten fiel die Wiedererkennung drastisch ab.

Produzenten von Schulfernsehsendungen haben herausgefunden, dass formale Gestaltungsmittel das Lernen fördern können. Doch allzu schnelle Schnitte und Bildwechsel überfordern das Gehirn. Musikvideos und Werbespots, die aus dem hektischen Wechsel unzusammenhängender Szenen bestehen, wollen auch kaum Information vermitteln, sondern vor allem die Aufmerksamkeit erregen. Die Leute sollen sich an den Namen des Produkts oder der Band erinnern; von den Details der eigentlichen Werbung bleibt kaum etwas haften. Die Orientierungsreaktion wird überreizt. Der Zuschauer bleibt zwar gefesselt, fühlt sich aber müde und erschöpft, ohne eine angemessene psychische Belohnung zu erhalten. Unsere ESM-Studien bestätigen diese intuitiven Einsichten.

Manchmal wird die Erinnerung an das Produkt sehr subtil erzeugt. Viele Werbespots gehen heute absichtlich indirekt vor: Sie erzählen eine einnehmende kleine Geschichte, ohne klar zu sagen, was sie eigentlich verkaufen wollen. Hinterher kann man sich vielleicht gar nicht bewusst an das Produkt erinnern. Den Werbeprofis geht es vor allem darum, die Aufmerksamkeit des Kunden zu gewinnen: Wenn er später einkaufen geht, wird er sich mit demjenigen Produkt wohler fühlen, an das er sich vage erinnert – egal wodurch.

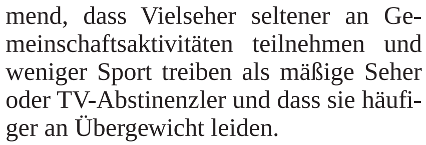
Die unruhigen Töne und Bilder ziehen schon Kleinkinder unwiderstehlich an. Dafna Lemish von der Universität Tel Aviv hat beschrieben, wie aufmerksam bereits sechs bis acht Wochen alte Säuglinge auf Fernsehen reagieren. Wir beobachteten etwas ältere Babys, die auf dem Rücken liegend den Hals um fast 180 Grad verdrehten, um sich den in dem merkwürdigen Fenster tanzenden Lichtern zuzuwenden. Dies zeigt, wie tief verwurzelt die Orientierungsreaktion ist.

Ohne Fernsehen kann ich nicht leben

Trotzdem sollten wir nicht übertreiben. Wenig spricht dafür, dass Erwachsene oder Kinder völlig aufs Fernsehen verzichten sollten. Problematisch wird es erst dann, wenn der Fernsehkonsum außer Kontrolle gerät.

Die Erlebens-Stichproben-Methode erlaubte uns einen Einblick in fast jeden Bereich des täglichen Lebens wie Arbeit, Essen, Lesen, Freunde treffen, Sport. Wir fragten uns, ob Dauergucker das Leben anders wahrnehmen als Menschen, die relativ wenig fernsehen. Haben Vielseher mehr Schwierigkeiten mit menschlichen Kontakten? Fühlen sie sich ihrer Arbeit stärker entfremdet? Unsere Ergebnisse gaben eine deutliche Antwort: In Situationen ohne klar vorgegebene Struktur – Nichtstun, Tagträumen, Schlangestehen – empfinden Vielseher signifikant mehr Angst und Unbehagen als Wenigseher. Noch deutlicher wird der Unterschied, wenn der Betreffende allein ist.

Daraufhin beschäftigte sich Robert D. McIlwraith von der Universität von Manitoba ausführlich mit Menschen, die sich in Umfragen selbst als fernsehsüchtig bezeichneten. Wie er herausfand, sind solche Personen schneller gelangweilt und abgelenkt als andere und können ihre Aufmerksamkeit schlechter steuern. Andere Studien zeigen übereinstim-



mend, dass Vielseher seltener an Gemeinschaftsaktivitäten teilnehmen und weniger Sport treiben als mäßige Seher oder TV-Abstinenzler und dass sie häufiger an Übergewicht leiden.

Natürlich erhebt sich die Frage, was hier Ursache und was Wirkung ist: Setzen sich die Leute aus Einsamkeit und Langeweile vor den Fernseher, oder macht umgekehrt der Fernsehkonsum anfällig für Langeweile und Einsamkeit? Wie die meisten Forscher halten wir Ersteres für den Regelfall, ohne daraus ein simples Entweder-Oder machen zu wollen. Dass häufiger Fernsehkonsum zu einer kürzeren Aufmerksamkeitsspanne, zu mangelnder Selbstbeherrschung und weniger Geduld bei alltäglichen Verzögerungen führt, vermuten unter anderem Jerome L. und Dorothy Singer von der Yale University. Vor über 25 Jahren beobachtete die Psychologin Tannis M. MacBeth Williams von der Universität von British Columbia die Einwohner einer westkanadischen Gebirgsstadt, die erst seit Anfang der siebziger Jahre Fernsehen empfangen konnten. Im Laufe der Zeit nahm sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen die Fähigkeit zur kreativen Problemlösung, zur ausdauernden Beschäftigung mit einer Aufgabe und zum geduldigen Umgang mit unstrukturierter Zeit deutlich ab.

Die überzeugendste Parallele zwischen Fernsehen und Drogensucht sehen einige Forscher in den Entzugssymptomen, die bei Reduzierung des TV-Konsums auftreten. Vor fast vierzig Jahren – damals gab es meist nur ein Fernsehgerät pro Haushalt – sammelte Gary A. Steiner an der Universität Chicago faszinierende Erlebnisberichte von Familien, deren Gerät kaputtgegangen war: „Die Familie lief umher wie eine Schar kopfloser Hühner.“ „Es war furchtbar. Wir taten überhaupt nichts – mein Mann und ich redeten.“ „Ich schrie dauernd herum. Die Kinder gingen mir auf die Nerven, ich verlor die Beherrschung. Versuchte vergeblich, sie für Spiele zu interessieren. Können ohne Fernsehen nicht leben.“

In Experimenten verzichteten Familien freiwillig oder gegen Bezahlung auf das Fernsehen – in der Regel eine Woche oder einen Monat lang. Viele hielten die Abstinenzfrist nicht durch. Einige stritten sich so heftig, dass es nicht bei Worten blieb. Ähnliches berichten amerikanische Familien, die sich eine fernsehlose Woche pro Jahr vorgenommen hatten.

Ist eine Familie gewohnt, die Freizeit größtenteils vor dem Fernseher zu verbringen, fällt es ihr schwer, sich auf andere Aktivitäten umzustellen. Das soll nicht heißen, dass es unmöglich ist oder dass




MAURITIUS / STUART PEARCE

Computerspiele lassen nicht los, weil sie ihren Schwierigkeitsgrad mit wachsender Fertigkeit des Spielers immerfort steigern.

die Familie zwangsläufig auseinander fällt, wenn man ihr den Fernseher nimmt. „Die ersten drei, vier Tage waren meist am schlimmsten, selbst in Haushalten, die auch sonst sehr wenig fernsahen", schreibt Charles Winick von der City University of New York in einer Zusammenfassung solcher Entzugsversuche. „In mehr als der Hälfte aller Haushalte gerieten die gewohnten Abläufe durcheinander, die Familienmitglieder wussten mit ihrer neu gewonnenen Zeit nichts anzufangen, Angst und Aggressionen machten sich breit ... Alleinstehende neigten zu Langeweile und Gereiztheit ... In der zweiten Woche kam es meist zu einer gewissen Anpassung an die neue Situation." Leider bleiben diese Berichte anekdotenhaft; es gibt noch keine statistische Erhebung über die Häufigkeit solcher Entzugssymptome.

Der Computer als abgestufte Herausforderung

Zwar scheint Fernsehen die Kriterien für Drogenabhängigkeit zu erfüllen, doch nicht alle Forscher würden von einer echten Sucht sprechen. „Die Verdrängung anderer Aktivitäten durch Fernsehen mag sozial signifikant sein, doch dies muss noch keine signifikante Beeinträchtigung im klinischen Sinne sein", meinte McIlwraith 1998: Eine neue Kategorie namens Fernsehsucht erübrige sich, wenn obsessives Fernsehen auf psychische Probleme wie Depression und Sozialphobien zurückzuführen sei. Doch ob wir jemanden nun formell als fernsehsüchtig bezeichnen wollen oder nicht – Millionen Menschen haben jedenfalls das Gefühl, ihren Fernsehkonsum nicht beliebig steuern zu können.

Obwohl der Umgang mit Videospielen und Computern viel weniger erforscht ist, gilt dafür im Prinzip das Gleiche. Die Spiele bieten Ablenkung und Zerstreuung; der Spieler fühlt sich rasch besser, und so entwickelt sich eine Art selbstverstärkende Rückkopplung.

Der Unterschied zum Fernsehen ist offensichtlich die Interaktivität: Viele Video- und Computerspiele steigern ihren Schwierigkeitsgrad mit der wachsenden Fertigkeit des Benutzers. Einen ebenbürtigen Tennis- oder Schachpartner muss man oft monatelang suchen; der Computer stellt sofort den perfekten Herausforderer. Er bietet das rauschhafte Glücksgefühl, das einer von uns (Csikszentmihalyi) als „Flow" bezeichnet hat – den selbstvergessenen Zustand, der eintreten kann, wenn der Mensch in seiner augenblicklichen Beschäftigung völlig aufgeht und eins wird mit sich und der Umwelt.

Andererseits kann die andauernde Aktivierung der Orientierungsreaktion auch zu Erschöpfung führen. Kinder berichten von Ermüdung, Benommenheit und Übelkeit nach langen Computersitzungen.

Der bisher extremste Fall solcher Nebenwirkungen ereignete sich 1997 in Japan, als 700 Kinder ins Krankenhaus gebracht werden mussten. Bei vielen lautete die Diagnose „optisch stimulierte epileptische Anfälle", verursacht durch grelle Blitzlichter in einem vom japanischen Fernsehen ausgestrahlten Pokémon-Videospiel. Solche Anfälle und andere üble Nebenwirkungen von Videospielen sind immerhin so häufig, dass Softwarefirmen und Playstation-Hersteller mittlerweile in ihren Spielanleitungen davor warnen. Eltern haben uns berichtet, dass ihren Kindern durch die schnellen Bewegungen auf dem Bildschirm schon nach 15 Spielminuten übel wurde. Aus Mangel an Selbstbeherrschung und Erfahrung – oft auch mangels Aufsicht – spielen viele trotz dieser Symptome weiter.

Lang und Shyam Sundar von der Pennsylvania State University haben untersucht, wie Internet-Nutzer auf unterschiedlich gestaltete Webseiten reagieren. Sundar präsentierte dieselbe Webseite in mehreren Versionen, die sich nur durch die Anzahl der Links – der per Computermaus aktivierbaren Zugänge zu anderen Webseiten – unterschieden. Mehr Links vermittelten den Nutzern nach eigener Aussage den Eindruck größerer Macht und intensiverer Einbindung; doch an einem bestimmten Punkt war eine Sättigung erreicht, und noch mehr Links verdarben den Nutzern schlichtweg die Lust am Surfen. Wie bei Videospielen scheint auch bei Webseiten die Anziehungskraft weniger auf formalen Merkmalen zu beruhen als auf ihrer Interaktivität.

Einer wachsenden Anzahl von Menschen erscheint das Leben, das sie „online" führen, oft wichtiger und intensiver als das herkömmliche Gespräch von Angesicht zu Angesicht. Daher ist es heute schwieriger denn je, im Umgang mit den Medien die Kontrolle zu behalten. Fernsehgeräte und Computer sind allgegenwärtig. Doch der kleine Bildschirm und das Internet müssen die Lebensqualität nicht beeinträchtigen. Bei richtiger Dosierung kann uns das Fernsehen bequem zu Zerstreuung und Entspannung verhelfen. Erst wenn der Medienkonsum unsere Fähigkeit hemmt, zu wachsen, zu lernen und ein aktives Leben zu führen, wird er tatsächlich eine Art Sucht, die wir ernst nehmen sollten. ■



Robert Kubey *ist Professor an der Rutgers University (New Jersey) und Direktor des dortigen Zentrums für Medienstudien. Er beschäftigt sich vorwiegend mit der Entwicklung der Medienpädagogik.* ***Mihaly Csikszentmihalyi*** *ist Professor für Psychologie an der Claremont Graduate University bei Los Angeles.*

TECHNOLOGIE-REPORT

Unfallfreies Fahren

Was liegt hinter der nächsten Kurve? ABS und ESP kommen mit Verkehrsgefahren schon gut zurecht. Nun sollen Fahrerassistenzsysteme und allerlei Sensorik Unfallrisiken weiter verringern, ja ausschalten.



VISION

Risiko menschliches Versagen

Mobilität fordert Opfer. Doch neuartige Sensoren, Fahrerassistenzsysteme und Verkehrsmanagementlösungen sollen crashfreies Fahren ermöglichen.

Von Rolf Sterbak

Die Teilnahme am Straßenverkehr ist in den meisten Ländern die gefährlichste tägliche Arbeit – etwa vierzigmal gefährlicher als das, was ein Industriearbeiter tut", sagt Kare Rumar vom schwedischen Forschungsinstitut für Straße und Transport in Linköping. Dieses düstere Bild will Arlan Stehny, leitender Ingenieur der Gesellschaft amerikanischer Automobilingenieure, nicht akzeptieren: „Autounfälle sind vermeidbar. Sie sind beim heutigen Stand der Technik vollkommen unnötig." Warum verunglücken aber trotzdem noch so viele Menschen im Straßenverkehr?

Die Antworten sind vielfältig. Zum einen, sagen die Fachleute, sei es ein Marktproblem: Sicherheitstechniken würden die Autopreise in die Höhe treiben, was viele Kunden nicht akzeptieren. Zum anderen sei es ein psychologisches Problem: Das Risiko, mit dem eigenen Auto einen Unfall zu haben, würde unterschätzt, dabei sterben derzeit europaweit etwa 42 000 Menschen pro Jahr im Straßenverkehr. Eine Schreckensbilanz, die nur noch von der Krebsstatistik überflügelt wird.

Allerdings sah das Bild 1970 noch schlechter aus, als 78 000 Opfer in Europa zu beklagen waren. Horst Brunner, Inhaber des Lehrstuhls für Kraftfahrzeug- und Antriebstechnik an der Technischen Universität Dresden sieht drei Ursachen für diese Trendwende: „Erstens eine deutlich verbesserte Rettungskette vom schnellstmöglichen Eintreffen der medizinischen Unfallhilfe bis zur ärztlichen Versorgung im Krankenhaus, zweitens die Entschärfung vieler Unfallschwerpunkte durch übersichtlichere Führung der Verkehrswege und drittens die entscheidende Verbesserung der passiven Sicherheit der Autos."

In den letzten Jahrzehnten ist das öffentliche Bewusstsein, mehr in automobile Sicherheit investieren zu müssen, deutlich gestiegen. Finnland war das erste europäische Land, dass 1973 konkrete Ziele für die Straßenverkehrssicherheit definierte (50 Prozent weniger Verkehrstote bis Ende der 70er Jahre). Das schwedische Parlament schraubte den Anspruch 1997 noch höher: Vision Zero – niemand soll mehr im Straßenverkehr sterben oder schwer verletzt werden. Bis 2007 wollen die Schweden über 30 Prozent weniger Unfalltote registrieren müssen und diese Zahl auf lange Sicht auf Null herunterschrauben. Auch die anderen europäischen Länder haben sich in den letzten Jahren entsprechende Sicherheitsprogramme verordnet, mit mehr oder weniger konkreten Reduktionszielen in den nächsten fünf bis zehn Jahren.

Dass Sicherheitsvorschriften aber oft auf heftigen Widerstand der Autofahrer stoßen, zeigte Anfang 1976 die Einführung der Gurtpflicht in den alten Bundesländern. Damals stellte der „Spiegel" in einer Titelgeschichte die Frage, ob der Staat den liberalen Autofahrer zum Überleben zwingen soll und darf. Viele Autofahrer demonstrierten deutlich ihre Meinung – das neue Rettungsmittel wurde in den folgenden Jahren wenig akzeptiert. Erst als 1984 die Gurtmuffel mit einem Verwarnungsgeld bestraft wurden, sank die Zahl der Verkehrstoten auffällig: von 10 199 auf 8400 im Jahr darauf (mittlerweile sind es unter 7000).

Passive Sicherheit, aktive Systeme

Auch die immer wieder aufflammenden Diskussionen um Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen, geführt mit Slogans wie „Freie Fahrt für freie Bürger", zeigen, dass nicht immer durchgesetzt werden kann, was vernünftig scheint. Dabei wiesen europäische Studien wie die *Managing Speeds of Traffic on European Roads* nach: Sinkt die Durchschnittsgeschwindigkeit um einen Kilometer pro Stunde, nimmt die Unfallhäufigkeit bis zu drei Prozent ab.

Immerhin setzten sich in den letzten Jahrzehnten technische Notfallretter wie

Inhalt

PREMIUM / HÄNEL

Airbag (Markteinführung 1981), intelligente Radbremsen wie ABS (1978) und ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm, 1995) oder BAS (Bremsassistent, 1996) auf breiter Basis durch und trugen dazu bei, dass die Wahrscheinlichkeit, bei einem Unfall ums Leben zu kommen, drastisch verringert wurde.

Wissenschaftliche Nachweise, wie viele Unfälle durch neue Sicherheitssysteme vermieden werden können, bleiben die Verkehrsforscher jedoch noch schuldig, gibt Professor Klaus Langwieder vom Münchner Institut für Fahrzeugsicherheit zu: „Die neuen Systeme wie automatischer Abstandsregler, elektronische Bremssysteme und andere haben im Markt noch zu geringen Anteil und auch die Identifizierung dieser Fahrzeuge im Unfallgeschehen ist sehr schwierig. Wir versuchen im Augenblick erste Untersuchungen über Fahrdynamikregler wie ESP – diese Arbeiten werden aber noch einige Zeit in Anspruch nehmen, da auch ein statistisch relevantes Unfallmaterial mit und ohne ESP aufgebaut werden muss.“ Allerdings seien die ersten Trendergebnisse mit ESP sehr positiv, meint der Unfallforscher vorsichtig.

Aber um die Unfallzahlen in Richtung Null zu drücken, reichen die bisherigen Schutzsysteme nicht aus. Die Autos müssen noch intelligenter werden, fordert Klaus-Dieter Vöhringer, Forschungsvorstand von DaimlerChrysler: „Jeder zweite Unfall wird sich künftig vermeiden lassen, vorausgesetzt die beteiligten Fahrzeuge sind mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattet.“

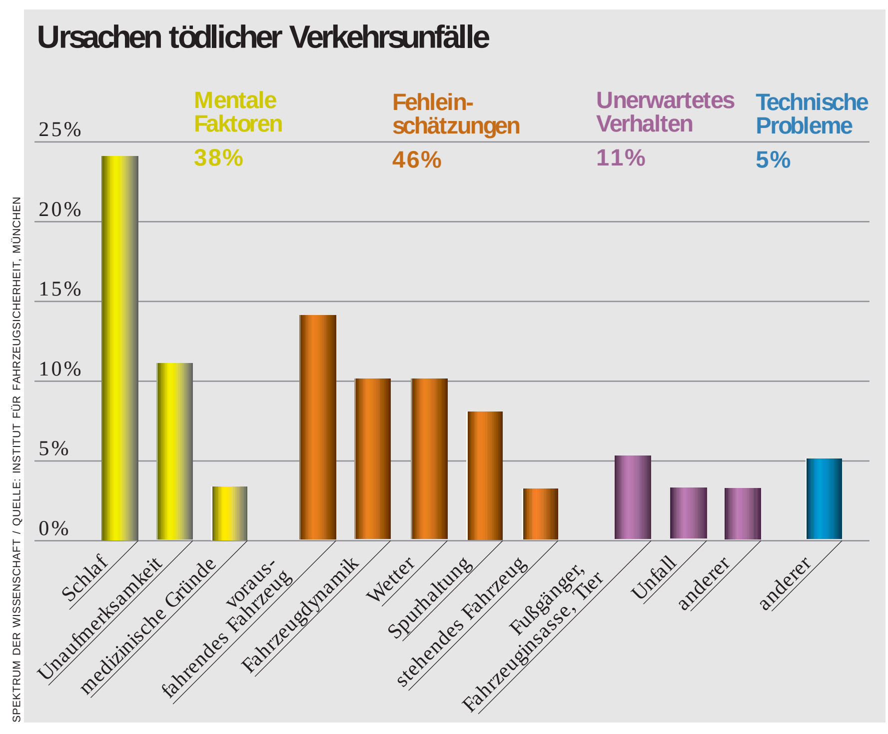


DAIMLERCHRYSLER

Kameras unter dem Rückspiegel und PCs im Kofferraum erkennen Fußgänger und Hindernisse.

Damit erfasst die Vision vom unfallfreien Verkehr nun auch die Automobilhersteller. Neben der passiven Crashsicherheit gehört die Zukunft eindeutig den aktiven Assistenzsystemen, die drohende Unfälle voraussehen und möglicherweise verhindern können. „Denn die Schwachstelle im System ist der Mensch“, sagt Hartmut Marwitz, Entwicklungsleiter Lkw bei Mercedes-Benz. „90 Prozent aller Unfälle gehen auf menschliches Versagen zurück.“ Was also läge näher, als dem Fahrer das Lenkrad aus der Hand zu nehmen und einem Roboter das Steuer zu überlassen? Dagegen wehren sich allerdings Fahrzeughersteller heftig: „Lösungen, die auch nur die Gefahr einer Entmündigung des Fahrers beinhalten, kommen für uns nicht in Frage“, schmettert Hans-Georg Metzler, Leiter der Labore Musterverstehen und Autonome Systeme bei DaimlerChrysler, alle Ideen eines Roboterlenkers ab. Statt den Fahrer zu bevormunden, will Metzler seine Schwächen ausbügeln; er liegt damit genau auf der Linie der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten seiner Kollegen in der deutschen Automobilindustrie sowie an Universitäten und Forschungsinstituten. Deren Aktivitäten konzentrieren sich vor allem auf folgende Gebiete:

➤ Neue Lösungen der Sensorik: Die Sensoren von morgen messen nicht nur Reifendruck und Straßenzustand oder ▶



Fehlverhalten des Fahrers gilt als Unfallursache Nummer Eins (hier eine Auswertung der Unfälle auf Bayerns Autobahnen 1991).

die Sitzbelegung, um Airbags präzise auslösen zu können. Sie beobachten auch den Fahrer, um ihn zum Beispiel vor dem Einschlafen zu warnen, und sie sollen sogar zum Schutz von Fußgängern beitragen.

➤ Neue Fahrerassistenzsysteme, wie sie unter anderem im Förderprogramm INVENT des Bundesforschungsministeriums entwickelt werden: Mittels Radar-, Infrarot- und Videotechnologie sollen die Fahrzeuge ihr Umfeld analysieren, Gefahren rechtzeitig erkennen und das (halb)automatische Fahren ermöglichen.

➤ Neue Verkehrsmanagementlösungen: Autos sollen in Zukunft selbstständig mit Verkehrszentralen und untereinander kommunizieren, um beispielsweise nachfolgende Fahrzeuge vor Staus und Unfällen zu warnen.

Darüber hinaus untersuchen Verfahren der Neurophysiologie Gehirnströme und Stoffwechselaktivität und lassen Rückschlüsse zu, worauf der Fahrer seine Aufmerksamkeit lenkt oder wann ihn ein Fluchtreflex überkommt. Lern- und anpassungsfähige Fahrzeuge sollen ein „Gefühl" für den jeweiligen Fahrer entwickeln und ihn optimal unterstützen. Bis solche Systeme allerdings den Markt durchdringen, werden wohl noch viele Jahre ins Land gehen.

Rolf Sterbak, *Wissenschaftsjournalist und studierter Pädagoge, wohnt und arbeitet in Hochdorf bei Stuttgart.*

VERKEHRSMANAGEMENT

Netze in Fahrt

Autos sollen künftig spontan über Funk kommunizieren und den Fahrer in Sekundenbruchteilen vor Gefahren warnen.

Von Bernd Müller

Ich sehe was, was du nicht siehst" heißt ein beliebtes Spiel, um Kindern die Langeweile bei endlosen Autofahrten zu vertreiben. Doch mit den Eltern macht das keinen Spaß – lustiger wäre es, mit Kindern in vorbeifahrenden Autos zu spielen. Könnten sich Autos in Sekundenbruchteilen spontan über Funk zu einem Netz zusammenschließen, ließen sich solche Spiele veranstalten. Weit wichtiger freilich: Auch Warnmeldungen wären blitzschnell von einem Fahrzeug beim anderen.

Eine Reihe von Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit solchen Szenarien. Wissenschaftler untersuchen, wie sich Autos vernetzen lassen, zum Teil auch unter Umgehung herkömmlicher Mobilfunknetze. Denn der heutige GSM-Mobilfunk ist bei voller Fahrt störanfällig, und auch beim künftigen UMTS-Standard sinkt die Übertragungsrate bei hohen Geschwindigkeiten. Teuer sind die Mobilfunknetze obendrein – und langsam: Bis eine Verbindung aufgebaut ist, mag das andere Fahrzeug längst davongefahren sein. Und die Telefonnummer des anderen Fahrzeugs kennt man normalerweise auch nicht.

Zwei Forschungsprojekte in diesem Segment des Verkehrsmanagements sind FleetNet, dem unter anderem DaimlerChrysler, Siemens und Bosch angehören und das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird, sowie CarTalk, ein vergleichbares Projekt unter EU-Regie, das Sicherheitsanwendungen für solche Kommunikationsnetze erforscht.

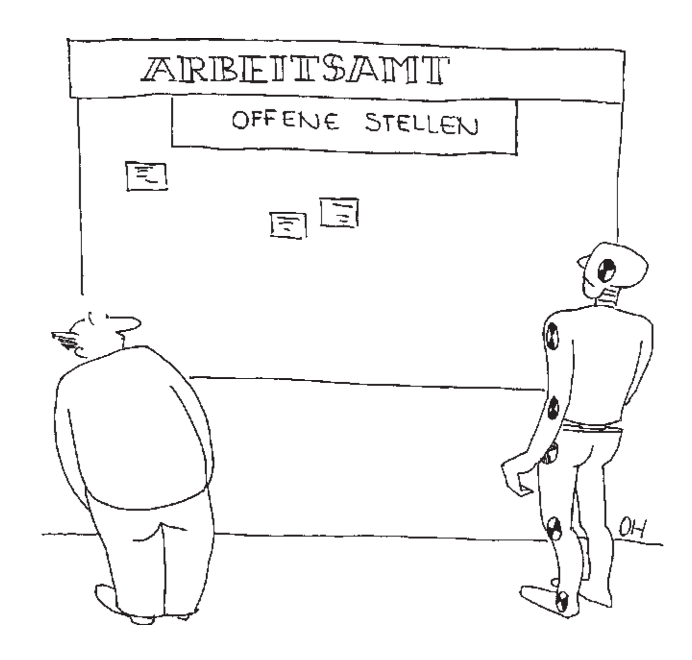
Ein typisches Szenario könnte so aussehen: Hinter einer Kurve ist ein Stau. Der Abstandssensor des Fahrzeugs am Ende des Staus schaltet automatisch den Warnblinker ein, den aber die herankommenden Fahrer hinter der Kurve nicht sehen können. Mit FleetNet dagegen würde blitzschnell eine Funkverbindung zum nachfolgenden Fahrzeug hergestellt und eine Warnung gesendet (siehe Grafik rechts). Von dort hangelt sich das Signal in Sekundenbruchteilen von Auto zu Auto. Die nachfolgenden Fahrzeuge schalten funkgesteuert den Warnblinker ein und drosseln automatisch ihr Tempo. Ziel ist es, die Wahrnehmung des Fahrers zu erweitern und ihn mit Informationen über Verkehrslage und Straßenbeschaffenheit zu versorgen, die weniger als eine Sekunde alt sind.

FleetNet und CarTalk könnten auch Autofahrern helfen, die mit der Rechts-vor-Links-Regel auf Kriegsfuß stehen. Fahren mehrere Autos an eine Kreuzung ohne Vorfahrtsregelung, würden sie sich in einer Simultankonferenz zusammen-

schließen und entscheiden, wer zuerst fahren darf. Genauso ließe sich das Einfädeln auf dem Beschleunigungsstreifen oder das Überholen auf der Autobahn steuern. Die Kommunikation muss aber auch bei hohen Geschwindigkeiten zuverlässig funktionieren, selbst wenn wenig Verkehr ist und damit nur wenige Knotenpunkte für das Funknetz zur Verfügung stehen. Außerdem müssen sich die Funkverbindungen in solchen Adhoc-Netzen durch Selbstorganisation aufbauen, und das bei sich ständig ändernden Netzknoten.

Standard-Mobilfunkprotokolle sind dafür ungeeignet. Denn die Daten sollen nicht wie in heutigen Netzen üblich an feste Adressen übermittelt werden, sondern in geografische Bereiche, zum Beispiel an die Fahrzeuge hinter dem Sender, und das ohne Übertragungskosten. Deshalb wollen die Entwickler lizenzfreie Funkfrequenzen nutzen, etwa das Band zwischen 2010 und 2020 Megahertz, also inmitten der im Jahr 2000 versteigerten UMTS-Frequenzen.

Die DaimlerChrysler-Forschung hat bereits erste Anwendungen realisiert: Zehn Smarts wurden mit Navigationssystem, Kamera, LCD-Bildschirm und Computer bestückt. Die Fahrzeuge können unter anderem Informationen über ihren Abstand und ihre Geschwindigkeit austauschen. Das FleetNet-Konzept soll aber noch über die reine Vernetzung zwischen Fahrzeugen hinausgehen. Über feste Funkknoten am Straßenrand können die Smarts Kontakt mit dem Internet aufnehmen und daraus zum Beispiel lokale Verkehrsinformationen beziehen. Eine Teststrecke wurde bereits mit Funkstationen bestückt, die mit den Smarts Daten austauschen.



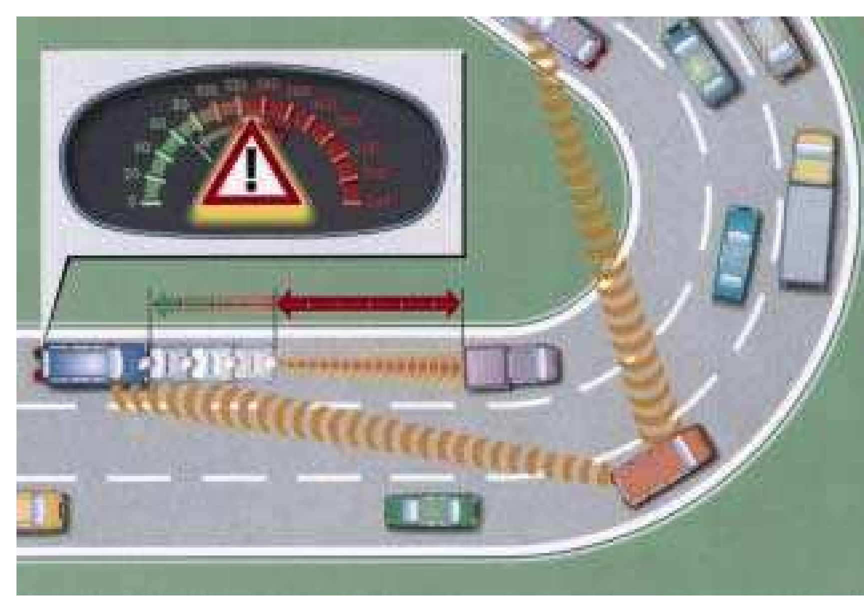
Voraussetzung für viele dieser Anwendungen ist, dass die Fahrzeuge ihre Position genau kennen. Die Ortsbestimmung mit dem amerikanischen *Global Positioning System* (GPS) reicht dafür nicht aus, sie ist selbst unter besten Bedingungen nur auf einen Meter genau und viel zu langsam. Im Falle eines Geisterfahrers muss das System beispielsweise zentimetergenau bestimmen, ob sich das eigene Fahrzeug auf der falschen Straßenseite befindet und ohne Zeitverzögerung die anderen Fahrzeuge auf die rechte Spur weisen. Abhilfe schaffen sollen neue GPS-Satelliten und das geplante europäische Satellitennavigationssystem Galileo. Mit der so genannten *Carrier differential GPS-Methode* würde die Ortung sogar auf einen Zentimeter präzise.

Ein Trick aus dem DaimlerChrysler-Forschungszentrum im kalifornischen Palo Alto hilft heute schon weiter: Wenn Fahrzeuge, die immer wieder gleiche Straßen benutzen, entlang ihres Weges Straßenkarten selbst erstellen, statt die auf den CDs des Navigationssystems gespeicherten Daten zu nutzen, verbessert sich die Ortung mit jeder Befahrung von zunächst einem Meter Genauigkeit auf wenige Zentimeter. ■

Bernd Müller *ist Wissenschaftsjournalist in Stuttgart mit den Schwerpunkten Physik und Technik.*



Patt an der Kreuzung? Theoretisch könnten sich die Autos selbst darüber verständigen, welches als Erstes fahren darf.

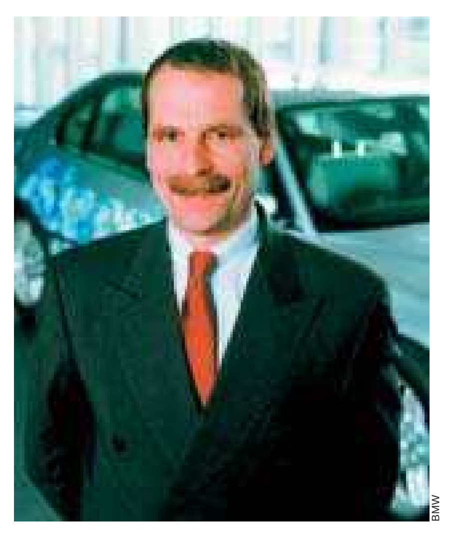


Vor gefahrenträchtigen Situationen wie einem Stau hinter einer Kurve sollen Fahrzeuge künftig per Funk nachfolgende warnen.

STRATEGIE

Die Verantwortung bleibt beim Fahrer

Über Sinn und Grenzen von Fahrerassistenzsystemen sprach „Spektrum der Wissenschaft“ mit Christoph Huß, dem Leiter des Bereichs „Wissenschafts- und Verkehrspolitik“ des BMW-Konzerns.



BMW

Der Diplom-Ingenieur Christoph Huß forscht seit 1983 bei BMW.

Spektrum: *Fahrerassistenzsysteme sollen Sicherheit und Komfort erhöhen. Wer haftet, wenn es dennoch zu einem Auffahrunfall kommt?*

Christoph Huß: Der Fahrer. Er bleibt immer für sein Tun und Handeln verantwortlich und haftet für Unfallschäden. Die Verantwortung lässt sich niemals auf eine Maschine oder ein System übertragen. Dies ist unsere Überzeugung und Grundlage der Rechtsprechung weltweit.

Spektrum: *Jetzt gibt es aber doch durchaus Szenarien, bei denen der Fahrer im Stop-and-go-Verkehr gemütlich Zeitung liest, weil das Fahrzeug automatisch fährt. Was, wenn es hier zu einem Unfall kommt?*

Huß: Ich halte diese Szenarien für schlichtweg unseriös. Es ist derzeit äußerst fraglich, ob die Stop-and-go-Funktion bei der gültigen europäischen Rechtsprechung überhaupt zulassungsfähig ist. Im so genannten Code of Practice, der von allen europäischen Ländern akzeptiert und verabschiedet wurde, ist festgeschrieben, dass der Fahrer nicht dazu verleitet werden darf, den Blick zu lange von der Straße abzuwenden. Die einzige Person im Fahrzeug, die beim Ausfall einer Technologie die Steuerung übernehmen kann, darf sich niemals außerhalb des Geschehens befinden. Dazu ist der Straßenverkehr viel zu komplex.

Spektrum: *Und wenn die Steuerung von außen erfolgte, über eine Leitzentrale?*

Huß: Der Fahrer darf nie in seinen Entscheidungsmöglichkeiten eingeschränkt werden. Außerdem ist der Mensch Maschinen in kritischen Situationen weit überlegen, da er innerhalb kürzester Zeit aus einer Vielzahl von Entscheidungsmöglichkeiten meist das Richtige auswählt. Der Zuverlässigkeitsgrad eines Fahrers liegt bei nahezu 100 Prozent. Deshalb halte ich auch die von einigen Verkehrspolitikern vertretene These „Der Fahrer ist das unsicherste Glied in der ganzen Kette“ für falsch.

Spektrum: *Ist der Code of Practice eine EU-verbindliche Rechtsvorschrift?*

Huß: Nein, vielmehr eine Empfehlung. Die EU-Verkehrspolitiker haben bewusst davon abgesehen, schon jetzt für kommende Fahrerassistenz- und Telematiksysteme eine Richtlinie zu formulieren. Denn solche Vorschriften können nur Zug um Zug mit der Weiterentwicklung der Technik eingeführt werden. Der Code of Practice beinhaltet vielmehr sicherheitsrelevante Grundsätze und beschreibt, wie On-board-Kommunikations- und Informationssysteme an ihrer Schnittstelle zum Fahrer ausgeführt sein sollten, um Ablenkung und Störung zu verringern. Die europäische Automobilindustrie hat sich freiwillig zur Einhaltung dieser Grundsätze verpflichtet.



PREMIUM / IMAGESTATE

Trotz aller Sensorunterstützung – der Fahrer trifft die letzte Entscheidung – und ist damit haftbar.

Spektrum: *In Kalifornien läuft seit 1986 ein Projekt, das automatisches Fahren demonstrierte. Hält denn dies in den USA bald Einzug?*

Huß: Wohl auch dort vorläufig nicht. Automatisches Fahren bedeutet, dass der Fahrer die Verantwortung zumindest teilweise an technische Systeme abgibt. Die können aber die heute gegebenen hohen Sicherheitsstandards nur aufweisen, wenn sie über ähnliche kognitive Fähigkeiten verfügen wie der Mensch, und das ist auf absehbare Zeit nicht gegeben. Geschieht ein Unfall, weil das System die Verkehrssituation nicht verarbeiten konnte, wäre der Hersteller zu belangen. Darüber klären übrigens Hinweise im Fahrgastraum amerikanischer Autos auf.

Spektrum: *Welches Interesse hatten denn die USA am Projekt „automatischer Highway“?*

Huß: Dasselbe wie wir Europäer, die mit dem EU-Projekt Prometheus ein ähnliches Projekt realisiert hatten. Beim automatischen Fahren liegt die Latte sehr hoch, sodass sich die Grenzen des Machbaren wie des Sinnvollen leichter erkennen lassen. Assistenzsysteme, die beispielsweise helfen, den Sicherheitsabstand auf der Autobahn einzuhalten, sind die Frucht dieser Arbeiten. ■

Interview: **Ulrike Zechbauer**, *Wissenschafts- und Technikjournalistin in München*

SENSORIK

Das sensible Auto

Sensoren im Auto arbeiten im Hintergrund und unterstützen den Fahrer. Ob intelligente Auslösung des Airbags, Warnung vor dem Einnicken oder Messung des Reifendrucks – ihre Zahl wird in den nächsten Jahren deutlich zunehmen.

Von Norbert Aschenbrenner

Heute ist nahezu jedes neue Auto mit mehreren Airbags und einem Antiblockiersystem (ABS) ausgestattet. Die Sicherheit hat einen Standard erreicht, der weltweit pro Jahr zehntausenden Menschen das Leben rettet. Und doch kamen 2001 auf deutschen Straßen fast 7000 Personen ums Leben; rund 2,36 Millionen Unfälle musste die Polizei aufnehmen. In anderen Ländern sieht die Bilanz noch trauriger aus.

Deshalb sollen künftig Sensoren noch mehr Informationen liefern: über die Verkehrslage, die Umweltbedingungen und die Situation im Inneren des Fahrzeugs. Bosch, weltweit der zweitgrößte Automobilzulieferer, propagiert das „sensitive Fahrzeug“. In diesem Szenario spielen Messfühler eine Schlüsselrolle, die mechanische und optische Signale in kürzester Zeit erfassen und verarbeiten; das Auto bekommt mittels Ultraschall, Video, Infrarot und Radar elektronische Augen und eine Art Tastsinn. Bei einem Unfall soll dann das Sicherheitssystem blitzschnell reagieren.

Die neue E-Klasse von Mercedes-Benz gibt einen Vorgeschmack auf die Technik, die in den nächsten Jahren in Serie geht. In den Limousinen sind zwei Beschleunigungssensoren am Kühlerquerträger angebracht, die einen Aufprall einstufen helfen. Eine Elektronik strafft die Gurte, die die Insassen in eine optimale Sitzposition ziehen und Sekundenbruchteile später wieder nachgeben, damit der Oberkörper in den Airbag eintauchen kann. Dieser wird je nach Unfallschwere in Stufen gezündet. Zusätzlich misst eine Folie unter dem Sitz das Gewicht des Beifahrers. Damit wird sichergestellt, dass der Airbag eine zierliche Frau nicht mit derselben Wucht trifft wie einen 100-Kilo-Mann.

Beim Blick ins Innere des Fahrzeugs gehen Forscher des Unternehmens Siemens noch einen Schritt weiter: „Wir entwickeln ein dreidimensional messendes Kamerasystem, das die Sitzposition des Beifahrers erfasst“, verspricht Dirk Zittlau von der Automobiltechniksparte Siemens VDO in Regensburg. Hintergrund sind Todesfälle, bei denen der eigentlich lebensrettende Airbag die Ursache war, weil sich der Kopf der Person im Moment der Zündung zu nahe am Armaturenbrett befand. In den USA, wo keine Gurtpflicht besteht, sind von 1996 bis 2000 fast 200 Menschen tödlich vom Airbag verletzt worden; mehr als die Hälfte von ihnen waren Kinder. Ende 2004 soll ein erstes System in Serie gehen, das die Auslösung des Airbags von der Sitzposition abhängig macht und das auch Kinder als Beifahrer erkennt (siehe Grafik unten).

Noch in der Vorentwicklung ist eine dreidimensionale CMOS-Kamera (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), eine Erfindung des Siemens-Forschungszentrums in München. Das System funktioniert mit einem Lichtblitz im nicht sichtbaren Bereich des Spektrums und einem Sensor mit ultraschnellem elektronischem Verschluss. Aus der Zeit, die das Licht zur Person und zurück zum Sensor benötigt, wird die Position des Beifahrers errechnet. Die Messung und die Verarbeitung der Information ist Dutzende Male in der Sekunde möglich – ausreichend oft, um die Reaktion des Airbagsystems rechtzeitig auf die Insassensituation anzupassen.

Alles unter Kontrolle

Von ihrem Funktionsprinzip her hat die CMOS-Technik gegenüber dem heutigen CCD-Verfahren mehrere Vorteile. Beide beruhen auf Halbleitern, die einen dem Lichteinfall proportionalen Strom erzeugen. Bei der CMOS-Technik werden die Pixel aber einzeln und nicht reihenweise ausgelesen, was Bildfehler vermeidet. Direkt auf dem Chip können zusätzliche elektronische Funktionen untergebracht werden, was eine kompakte Bauweise ermöglicht und den Stromverbrauch senkt. Zudem sind CMOS-Chips billiger herzustellen. Die Siemens-Wissenschaftler wollen bis Herbst einen dreidimensional abbildenden CMOS-Sensor mit integrierter Elektronik und 32 mal 32 Pixel entwickeln.

Wenn Autos mit 3D-Kameras ausgestattet sind, die Informationen über Position und Größe der Insassen liefern, können diese auch für den Komfort verwendet werden. So ließen sich etwa Sitze, Außenspiegel oder Luftströme aus der ▶

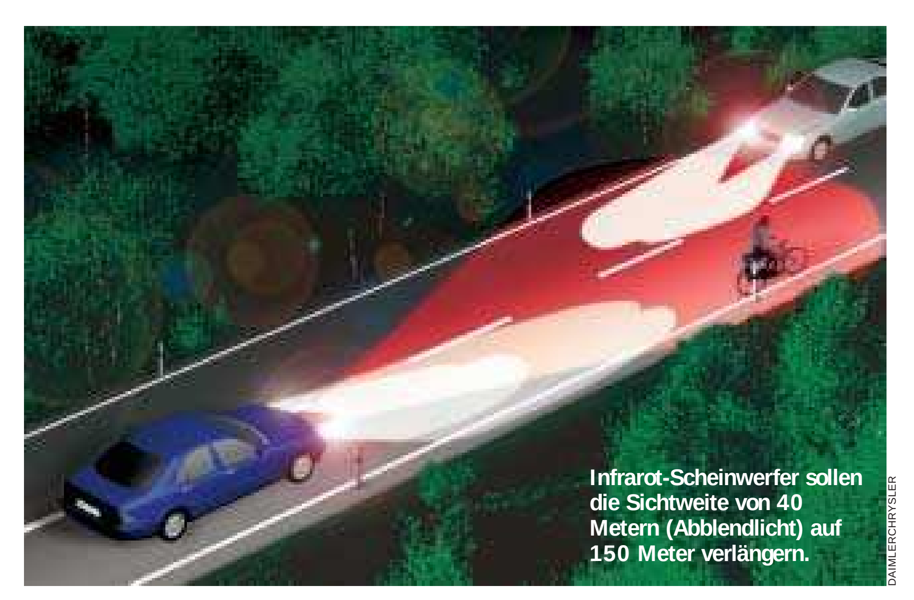


THOMAS BRAUN / SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT; QUELLE: SIEMENS



SIEMENS

Nicht immer sollte sich ein Airbag voll entfalten, mitunter wäre das sogar tödlich für den Beifahrer. Eine kleine Kamera hilft der Steuerung, die richtige Entscheidung zu treffen.


Infrarot-Scheinwerfer sollen die Sichtweite von 40 Metern (Abblendlicht) auf 150 Meter verlängern.

DAIMLERCHRYSLER

Klimaanlage automatisch anpassen. Bereits mit heutigen Kameras ist ein System möglich, das den Fahrer vor dem Einschlafen warnt. Generell gilt, je schläfriger der Fahrer, desto häufiger blinzelt er und desto länger dauern die Lidschläge. Theoretisch sollte es kein Problem sein, den Fahrer auf Basis solcher Messdaten zu warnen. Denkbar wäre ein akustisches Signal, die Abkühlung des Fußraums, oder auch nur eine Warnung in der Anzeige des Armaturenbretts. Siemens VDO hat im Rahmen eines französischen Forschungsprojektes ein Testfahrzeug mit einem Einschlafwarner ausgestattet. So wünschenswert solch ein System beispielsweise bei übermüdeten Lkw-Lenkern wäre, so problematisch sehen Autohersteller die Anwendung in der Praxis: Müde Fahrer könnten sich zu sehr auf die Technik verlassen und über ihre Grenzen hinausgehen.

Elektronische Knautschzone

Fahrer und Fahrgäste zu beobachten ist eine Aufgabe der Sicherheitssysteme; die so genannte Pre-Crash-Sensorik erfasst zudem die unmittelbare Umgebung des Autos. Noch vor einem Unfall soll sich das Fahrzeug optimal auf den zu erwartenden Aufprall einstellen und so Energie abpuffern, es gewinnt sozusagen eine elektronische Knautschzone. Dies könnten Radar- oder Videosensoren ermöglichen, die die Umgebung des Fahrzeugs abtasten und Alarm schlagen, wenn sich Objekte auf Kollisionskurs nähern. Bosch und Siemens entwickeln derartige virtuelle Sicherheitsgürtel – ab 2003 sollen sie auf dem Markt sein.

Die zusätzlichen Sensoren können dem Sicherheitssystem entscheidende Sekundenbruchteile Zeitvorsprung verschaffen. „Das ist vor allem bei Unfällen mit hoher Geschwindigkeit bedeutend. Es bringt mehr Informationen für die Entscheidung, wie Airbag und Gurtstraffer reagieren sollen“, sagt Norbert Eisenreich vom Fraunhofer Institut für Chemische Technologie bei Karlsruhe. Auch die Sitze könnten so noch vor dem Zusammenstoß in eine günstige Position bewegt werden. Patricia Piekenbrock von DaimlerChrysler sieht noch weitere Vorteile: „Wenn ein Unfall doch nicht stattfindet, sind die Maßnahmen reversibel, im Gegensatz zu einem Airbag, der ersetzt werden muss, wenn er einmal gezündet wurde.“ Das System wird schließlich auch so eingestellt, dass sich die Airbags erst bei einem wirklichen Unfall entfalten.

Die Pre-Crash-Sensorik dürfte sogar für Fußgänger wichtig werden. In der EU-Kommission gibt es derzeit Überlegungen für gesetzliche Regelungen, wie die Fahrzeughersteller den Schutz der schwächsten Verkehrsteilnehmer verbessern könnten. Knapp 40 000 Fußgänger kommen pro Jahr in Deutschland zu Schaden; 2001 starben etwa 900. Von ihnen könnten einige noch leben, wären Motorhauben anders konstruiert. Da zum darunter liegenden Motorblock kaum Abstand ist, wird ein aufprallender Kopf schwer verletzt. Siemens arbeitet daher an einer aktiven Motorhaube, die bei einem Unfall um etwa zehn Zentimeter angehoben wird.

Damit es erst gar nicht zu einer unfallträchtigen Situation kommt, entwickeln Hersteller wie DaimlerChrysler eine Sehhilfe für die Nacht oder bei Regen. Infrarot-Scheinwerfer sollen die normale Sichtweite im Abblendlicht von rund 40 Meter auf 150 Meter steigern. Das unsichtbare Infrarotlicht wird von einer Kamera aufgenommen und auf einem Monitor oder der Windschutzscheibe sichtbar gemacht. Rund 40 Prozent aller schweren Autounfälle passieren bei Dunkelheit – obwohl Nachtfahrten weniger als 20 Prozent der gesamten Fahrleistung ausmachen. Das wundert Uwe Kraffel, den Vorsitzenden des Berufsverbandes der Augenärzte nicht, denn „bis zehn Prozent der Bevölkerung können nachts nur eingeschränkt sehen, setzen sich aber dennoch ans Steuer“.

Der freien Sicht dienen auch Regensensoren, die heute noch als Option angeboten werden, bald aber zur Serienausstattung gehören sollen. Nach einer Studie der Unternehmensberatung Roland Berger dürfte bis 2005 jedes zweite Neufahrzeug darüber verfügen. Der Sensor misst die Reflexion eines Lichtstrahls auf der Windschutzscheibe, die je nach Wassermenge ein Maß für die Einstellung des Scheibenwischers liefert. „Das System reagiert bei Spritzwasser von einem Lkw schneller als der Fahrer“, erklärt Thomas Schuler von Valeo, einem der Hersteller.

Hoher Aufwand – hoher Preis

Schließlich überwachen Sensoren auch den Funktionszustand des Fahrzeugs und seine Fahrtauglichkeit selbst. Einsatzreif ist beispielsweise ein Reifensensor von Siemens, der frühzeitig vor einem Druckverlust warnt. Das Bauteil ist an der Felge befestigt und sehr robust: Es hält Erschütterungen stand und ist bei einer Geschwindigkeit von 250 Kilometern pro Stunde der 1000fachen Erdbeschleunigung ausgesetzt. Ab 2005 soll es Sensoren geben, die im Reifen sitzen.

Klaus Gresser, bei BMW zuständig für dieses Fachgebiet, warnt: „Da es immer wieder Situationen gibt, in denen einzelne Messfühler den Zustand nicht ausreichend korrekt abbilden, müssen die Daten unterschiedlicher Sensoren sorgfältig abgeglichen werden. Und bei Systemen, die aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen, müssen die Detektoren zielsicher entscheiden können.“ BMW werde daher immer auf Systeme setzen, die der Fahrer mit seiner Reaktion steuern könne. VW-Sprecher Harthmut Hoffmann verweist auf einen weiteren heiklen Punkt: Insassenüberwachung mit High Tech sei nicht zuletzt auch eine Frage des Preises. „Der Hersteller muss sich immer überlegen, ob der Kunde bereit ist, den hohen Aufwand zu bezahlen.“ ■

Der promovierte Chemiker ***Norbert Aschenbrenner*** *ist Wissenschafts- und Technikjournalist in München.*

BILDVERARBEITUNG

Sicherheit durch Rundumblick

Video- und Radarsensoren sollen Straßenbegrenzungen erkennen sowie Verkehrszeichen, Fußgänger und andere Automobile. Sie bilden die Basis intelligenter Assistenzsysteme.

Von Arthur F. Pease

Autos sind – bislang – blind, taub und stumm. Doch Forscher in Europa, Japan und den USA entwickeln Kameras, Radargeräte und Informationssysteme, die Fahrzeuge in mobile Sensoren verwandeln. „Die Autos von morgen werden die Aufmerksamkeit des Fahrers auf drohende Gefahren lenken", prophezeit Professor Anton Anthofer von der Fachhochschule Amberg-Weiden. „Mehr noch, sie werden unter bestimmten Umständen – zum Beispiel im Stop-and-go-Verkehr oder bei Fahruntüchtigkeit des Lenkers – das Fahrzeug selbst steuern."

Anthofer arbeitet eng mit Industriepartnern zusammen, um deren Entwicklungsaktivitäten mit dem Forschungsprogramm Invent (Intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik) des Bundesforschungsministeriums zu koordinieren. Teilnehmer bei diesem im Juli 2001 gestarteten, 76 Millionen Euro umfassenden Programm sind viele der größten deutschen Unternehmen. Invent ist in drei Bereiche untergliedert: Fahrerassistenz und aktive Sicherheit, Verkehrsmanagement sowie Transportlogistik.

Einen Arbeitsschwerpunkt bildet der „Stop-and-go-Assistent", der in drei Jahren ein Demonstrationsfahrzeug steuern soll. Denn laut Statistik ist etwa jeder vierte Unfall Folge eines von hinten auffahrenden Fahrzeugs. Das System basiert auf Vorarbeiten aus den 80er und 90er Jahren: Das EU-Projekt Prometheus gipfelte in Fahrzeugen, die – voll gestopft mit Elektronik, mehr als einem Dutzend Kameras und höchstentwickelten Bildverarbeitungssystemen – automatisch mit Tempo 100 über die Autobahn fuhren. In der Stop-and-go-Variante, die jetzt zur Serientauglichkeit geführt werden soll, erfassen zwei Kameras – vermutlich im Gehäuse der Scheinwerfer oder hinter der Windschutzscheibe montiert – bis zu drei Fahrspuren vor dem Auto und blicken bei Geschwindigkeiten unter 50 Kilometern pro Stunde etwa 40 Meter weit voraus. Der Assistent passt das Tempo dynamisch der Situation an. „Selbst wenn andere Fahrzeuge bei starkem Verkehr in die eigene Spur wechseln oder sie verlassen, kann das Auto sofort reagieren. Das reduziert Stress und die Zahl der Auffahrunfälle", erläutert Martin Hummel, Spezialist für Sicherheitselektronik bei Siemens VDO.

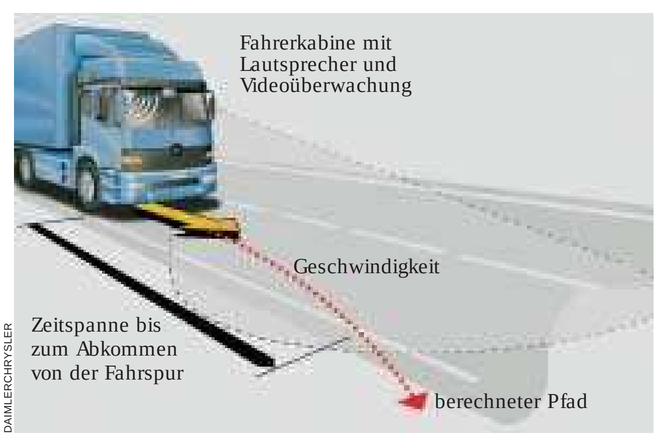
Schnelle Algorithmen der Datenkompression erschließen auch Situationen mit wesentlich höheren Fahrgeschwindigkeiten. So haben Wissenschaftler im Forschungszentrum Roke Manor Research (RMR) in der Nähe von Southhampton in Südengland ein Verfahren entwickelt, das wichtige Bildpunkte in aufeinander folgenden Videobildern identifiziert und ihren Abstand über kontinuierliche Triangulationsverfahren extrem schnell ermittelt. Nähert sich ein Fahrzeug von hinten oder von der Seite, berechnet dieses System die Zeit bis zum Aufprall in Echtzeit, denn die gesamte Menge an Bilddaten wird auf nur 400 bis 500 Punkte reduziert.

Darüber hinaus können Kameras auch vor einem unbeabsichtigten Spurwechsel oder dem Abkommen von der Straße warnen, beispielsweise wenn der Fahrer übermüdet ist – Situationen, die etwa 38 Prozent der schweren Unfälle ausmachen. Verschiedene Firmen sind hier tätig. Ihre Algorithmen identifizieren Straßenbegrenzungen im Videobild. DaimlerChrysler hat bereits 600 seiner Lkw mit diesem „Lane Departure Warner" ausgestattet (siehe Bild unten links). Weicht das Fahrzeug zu weit nach links oder rechts von der Fahrbahn ab, ohne dass der Blinker gesetzt ist, ertönt das jedem Fahrer von Autobahnbaustellen bekannte Nagelbandrattern aus einem Lautsprecher.

Offenes System Auto

Derartige Videosysteme können zudem die Verkehrssicherheit in Städten verbessern. DaimlerChryslers „Innenstadtassistent" beispielsweise hilft, den Sicherheitsabstand zum Vordermann einzuhalten und identifiziert darüber hinaus Verkehrszeichen, Ampeln und Fußgänger mit Hilfe verschiedener, parallel arbeitender und lernfähiger Bilderkennungsverfahren. Viele Unfälle, so die Daimler-Forscher, könnten vermieden werden, wenn der Fahrer nur ein Fünftel einer Sekunde früher reagiert hätte. Das aber schaffen nur elektronische Systeme.

Auch in den USA entstehen kamerabasierte Systeme, ebenso in Japan. Dort wird eine Markteinführung noch vor 2010 erwartet, Zuverlässigkeit und Akzeptanz bei den Kunden vorausgesetzt. ▶



Das erste kommerzielle Assistenzsystem erkennt aus Videobildern, wenn ein Lkw die Spur ohne Grund zu verlassen droht, und aktiviert den Fahrer durch ratternde Geräusche.



Videoüberwachung plus Bildverarbeitung im Verein erkennen Fußgänger und können den Fahrer warnen oder das Fahrzeug automatisch abbremsen.

Zusätzlich zu Kameras werden die Autos von morgen auch Radareinrichtungen besitzen, die etwa im Stoßfänger montiert sind. Die Ingenieure konzentrieren sich vor allem auf die Frequenz von 24 Gigahertz. „Sie ist ideal für die Messung von Objekten in einer Entfernung von drei bis zwanzig Metern“, erklärt Reiner Dörfler, Radarexperte bei Siemens VDO. Solche Sensoren eignen sich für die verschiedensten Anwendungen: für die Regelung des Tempomaten bei Stop-and-go-Verkehr, die Pre-Crash-Sensorik, für die Detektion von Fahrzeugen im toten Winkel des Rückspiegels sowie in Kombination mit Kameras auch für Fußgängererkennung und automatisches Einparken. „Die neuesten Systeme sind so klein, dass sie sogar ins Gehäuse der Außenspiegel passen – was ein geradezu idealer Ort für sie ist“, sagt Dörfler.

Sein Entwicklungsteam versucht gerade, die Flut von Daten der verschiedenen Sensoren zu einem optimalen Informationsmix zu verbinden. „Kameras“, erläutert er, „können Details exzellent unterscheiden, Radar ist da eher schwach. Doch auf der anderen Seite kann man mit Radar Entfernungen und Differenzgeschwindigkeiten sehr gut messen, und die Geräte arbeiten zudem zuverlässig bei jedem Wetter, trotz Schmutz und wechselnden Lichtbedingungen. Unser Ziel ist eine kostengünstige, hochauflösende 360-Grad-Messung rund ums Auto.“

Um die Effizienz beider Systeme zu erhöhen, müssen sie in eine gemeinsame Plattform eingebunden werden, die eine wechselseitige Kommunikation erlaubt und zudem auch leicht aufrüstbar ist. Sie muss außerdem sicherstellen, dass ein neues Gerät mit Hilfe von simplem „Plug and play“ ins Gesamtsystem integriert und Software jederzeit aktualisiert werden kann. Beispielsweise würde ein Update der Kamerasteuerung „per Handy vom Server des Herstellers heruntergeladen“, sagt Hongjun Pu, Projektmanager des Invent-Verkehrsmanagement-Programms bei Siemens VDO. „Autos der Zukunft müssen offene Systeme sein, denn die größte Herausforderung für uns besteht darin, mit der Innovationsgeschwindigkeit der Telekommunikations- und Computerbranche Schritt zu halten“, bestätigt Burkhard Göschel, Vorstand für Entwicklung und Einkauf bei BMW. ■

Arthur F. Pease *schreibt als englischsprachiger Fachjournalist in München über Themen aus Medizin und Technik.*

Am Rande

VOOORRSICHTTTT!!!!!

Eine Vision des automatischen Beifahrers

Castrop-Rauxel, Innenstadt, 12:30. Ich habe einen Termin, bin knapp dran und trete aufs Gas.
„Hallo, Hallöchen! War die Ampel nicht gerade ein BISSCHEN rot?“
„Sie war noch ziemlich gelb“, erwidere ich schuldbewusst.
„Da sagen meine Sensoren aber was anderes!“
„Nerv nicht!“
Ich biege in eine Seitenstraße, in der Hoffnung auf weniger Verkehr. Plötzlich ...
„Uuups!“
„Ich habe den Jungen gesehen!“ Was stimmt.
„Aber ein BISSCHEN spät vielleicht?“ Was ebenfalls stimmt, der Bengel sprang von jetzt auf nachher hinter einem Wagen hervor. Aber der Fahrerassistenz Recht geben? Niemals!
„Es war alles im grünen Bereich.“

Übrigens ...“, säuselte es aus dem Lautsprecher. Klar, dass die erholsame Stille nur ein paar Minuten dauern würde.
„Was ist?“
„Hier wäre eigentlich 30, nur mal so nebenbei.“
„Warum drosselst du dann nicht das Tempo,“ frage ich genervt. Der Tacho zeigt gerade mal 40.
„Damit ich mir hinterher wieder Vorwürfe anhören muss? Nein, nein.“ Alte Zicke.
„VOOORRSICHTTTT!!!!!“
Mit quietschenden Reifen kommt mein Wagen knapp hinter einem plötzlich zum Parken ansetzenden Fahrzeug zum Stehen.
„So ein Arrr...mleuchter“, errege ich mich. Dann lenke ich meinen Zorn berechtigterweise auf Anwesende. Jedenfalls irgendwie Anwesende. „Du machst mich ganz konfus. Beinahe wäre ich dem deinetwegen draufgefahren.“
„Ach, ja? Und was ist mit deiner Hauttemperatur?“ kommt beleidigt zurück. „Keine Spur von anspringender Aktivität. Den hättest du glatt verpennt.“
„Im Leben nicht. Ja, wenn du mich gezielt warnen würdest. Aber einfach so anbrüllen VORSICHT, was soll das?“

Vorsicht“, flüstert der Lautsprecher, „da kommt wieder einer!“
Hunderte von Metern vor mir kreuzt ein anderes Fahrzeug meinen Weg.
„Besser so?“, säuselt es.
Ich bin – fast – sprachlos. „Jetzt ist Schluss, ich schalte dich ab!“
„Das würde ich aber nicht tun, weil –“
„Ist mir egal!“
„– weil dann die Produkthaftung erlischt.“
Das Leben ist ungerecht!

Klaus-Dieter Linsmeier

Der Autor ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.


DAIMLERCHRYSLER

SMART CAR

Mein Auto versteht mich

Fahrzeuge sollen künftig sensibel auf Stimmungen und Befindlichkeiten ihrer Fahrer reagieren.

Von Rolf Sterbak

Weg mit den seelenlosen Fahrmaschinen, die nur Kilometer abspulen, bis sie auf dem Schrott landen. Nein, her mit den automobilen Partnern auf der Straße! Was früher nur den Besitzern einer Citroen-„Ente" vorbehalten war, soll bald allen Autofahrern zuteil werden: Mein Auto versteht mich und reagiert auf meine Stimmungen.

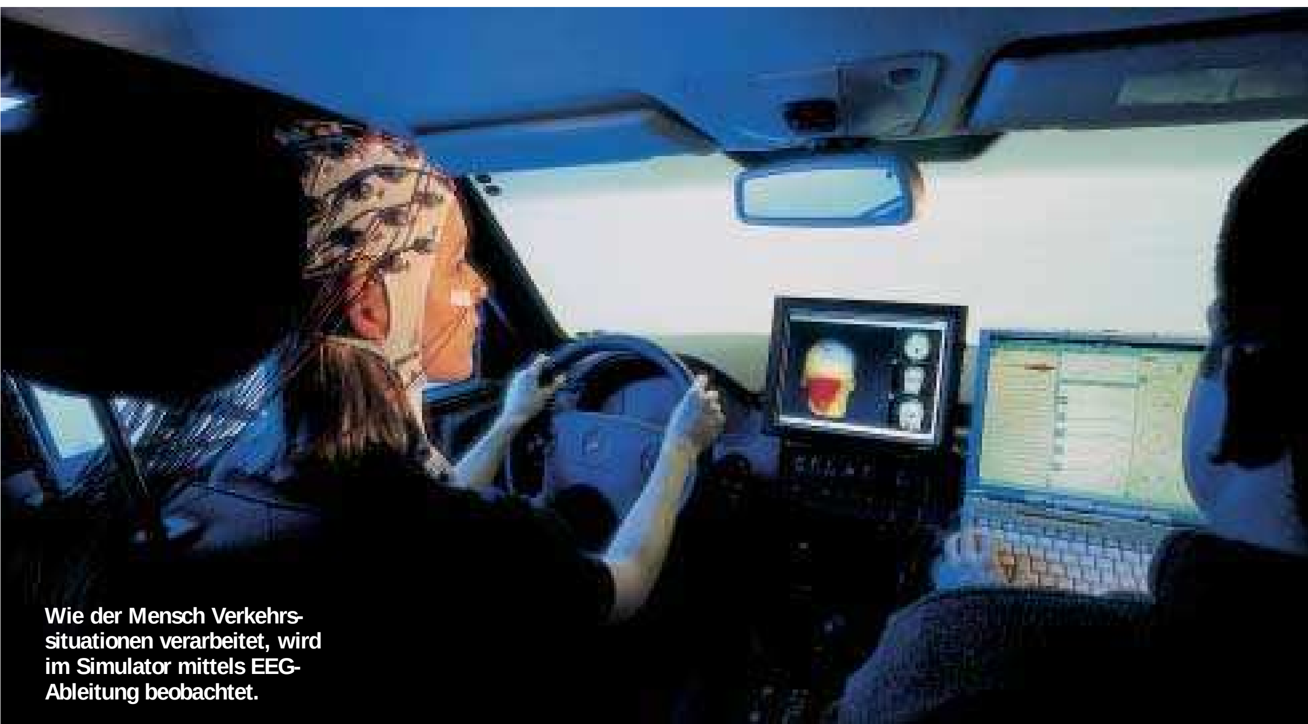
Was nach Satire klingt, steht für ein ernst gemeintes Konzept, das Autofahren sicherer zu machen. So stellten Toyota und Sony unter dem Namen „Pod" auf der Tokio Motor Show Ende letzten Jahres ein Konzeptfahrzeug vor, das die Stimmung des Fahrers erfasst und selbst „Emotionen" zeigt. Es grüßt beim Einsteigen über einen LED-Bildschirm und Lautsprecher mit einem freundlichen „Hello". Danach beginnen verschiedene Sensoren die Stimmung des Wagenlenkers zu erfassen. Dazu wertet Pod Lenkrad-, Gas- und Bremspedal-Aktionen sowie Puls und Hauttranspiration aus. Der Grund: In Fahrsimulationen haben die japanischen Forscher herausgefunden, dass aggressive Fahrer hektischer am Lenkrad reißen und auf das Gaspedal treten, ruckartiger bremsen, mehr schwitzen und einen höheren Puls erreichen.

Wenn Pod derartig unfallträchtige Signale empfängt, versucht er zu beruhigen: Das Auto schickt via Klimaanlage kühlende Luft ins Cockpit und sucht einen Radiosender mit sanfter Musik. Außerdem unterscheidet es anhand der Fahrmuster einen routinierten von einem weniger trainierten Autofahrer. Entsprechend lobt oder kritisiert ein Sprachcomputer den jeweiligen Fahrstil, um riskanten Fahrmanövern vorzubeugen.

Einen ähnlichen Weg beschreiten die IBM-Forscher Wlodek Zadrozny und Dimitri Kanevsky vom Watson Research Center in Yorktown (US-Bundesstaat New York). Sie entwickelten einen virtuellen Beifahrer, der dann in Aktion tritt, wenn der Fahrer am Steuer auf allzu langen Fahrten einzunicken droht. Im Wesentlichen steckt ein Sprachsystem dahinter, in dessen Speicher das Interessenprofil des Fahrers einprogrammiert wurde, ergänzt um eine Innenraumkamera, die sein Gesicht beobachtet. Klimpert der Fahrer verdächtig mit den Augenlidern, was einem Sekundenschlaf vorausgeht, so beginnt der virtuelle Beifahrer ein provozierendes Gespräch in der Art von „Wann warst du zum ersten Mal verliebt?" oder „Wusstest du, dass der DAX um 500 Punkte gefallen ist?". Über Mikrofone analysiert das Sprachsystem die Antworten. Falls der Angesprochene zu wenig reagiert, kann es für ihn ungemütlich werden. Feine Düsen spritzen ihm kaltes Wasser ins Gesicht, die Seitenscheiben gleiten auf und zu, das Radio wechselt plötzlich sein Programm, und Warntöne heulen aus den Lautsprechern. „Natürlich hat unser System nur einen kurzzeitigen Effekt", schränkt Zadrozny ein. „Es kann aber vor dem Sekundenschlaf warnen und den Fahrer daran erinnern, eine Pause einzulegen. Wir denken, dass der virtuelle Beifahrer in etwa vier Jahren in Serie gehen könnte."

Was Fahrer denken

Solche Ideen klingen zwar skurril, aber einleuchtend. Doch will ein Wagenlenker sich wirklich mit seinem Auto unterhalten, das ihn auch noch belehrt? Welche Art von Informationen und Signalen kann ein Fahrer während der Fahrt überhaupt wahrnehmen, ohne dass er verwirrt und abgelenkt wird? Verkehrspsychologen sprechen von einer „kognitiven Zusatzbelastung", die manche Assistenzsysteme vom Autofahrer verlangen. Auch dass die oft nicht rational auf Warnsignale reagieren, ist bekannt. Beispiel Fluchtreflex: Muss der Fahrer einem auftauchenden Hindernis ausweichen, neigt er zu übertriebenen Lenkma-



Wie der Mensch Verkehrssituationen verarbeitet, wird im Simulator mittels EEG-Ableitung beobachtet.

DAIMLERCHRYSLER

növern. Beispiel selektive Wahrnehmung: Nur was der Fahrer im Augenblick für wichtig hält, dem widmet er seine Aufmerksamkeit, wie dem Lesen von Straßennamen oder dem quengelnden Kind auf dem Rücksitz.

Was im Kopf eines Fahrers während Extremsituationen vorgeht, wissen die Fahrzeugentwickler noch zu wenig. Um solche Fragen zu beantworten, beziehen sie deshalb immer mehr Psychologen, Anthropologen, Ergonomen und Neurophysiologen in ihre Forschungen mit ein. Erste Erkenntnisse flossen bereits in neue Systeme ein. So haben DaimlerChrysler-Forscher bereits vor Jahren in Fahrsimulationen nachgewiesen, dass die meisten Fahrzeuglenker in Notsituationen zu schwach auf das Bremspedal treten und den Bremsweg so verlängern. Ein Bremsassistent soll deshalb bei schreckhaftem Bremsen das Auto sofort maximal verzögern.



DAIMLERCHRYSLER

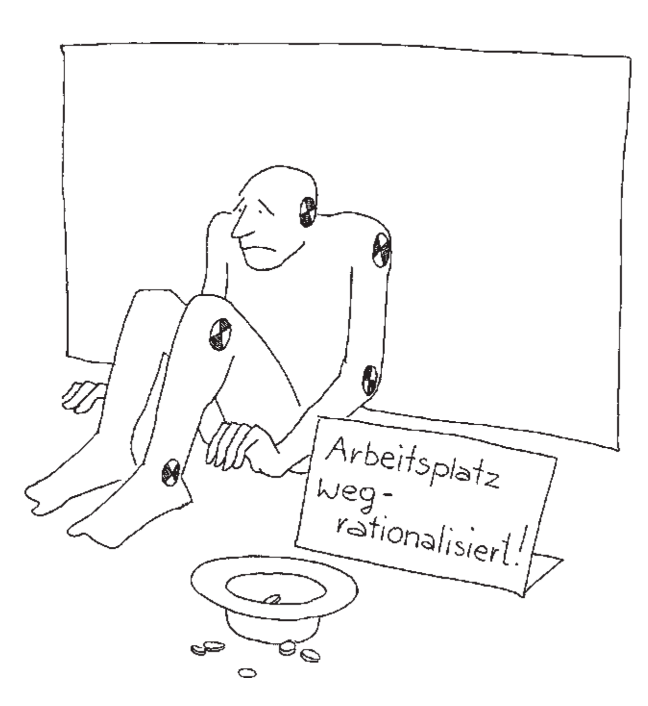
Im funktionellen Kernspintomogramm eines Fahrers sind unter anderem motorische Zentren des Frontallappens, aber auch visuelle Bereiche im Hinterkopf aktiv.

Aber nur Reaktionen von Fahrern auf virtuellen Teststrecken zu beobachten, ist den Forschern heute zu wenig. Sie wollen direkt ins Gehirn ihrer Probanden schauen und dort ergründen, wie sie bei stressigen Fahrsituationen denken und fühlen. Mit diesen Erfahrungen könnten die Wissenschaftler wesentlich genauere kognitive Fahrermodelle für die Sicherheitsforschung entwickeln.

Beim Blick in die Black Box Gehirn hilft den Forschern ein physiologischer Effekt: Aktive Hirnbereiche verbrauchen mehr Sauerstoff als ihre Nachbarn. Diesen erhöhten Bedarf kann ein bildgebendes Verfahren wie die funktionelle Magnetresonanz-Tomographie (fMRT) sichtbar machen. Sie liefert ein räumliches Bild der Gehirnaktivitäten. Dazu liegen die Probanden im Tomographen. Über eine Stereobrille mit eingelassenen Minibildschirmen bekommen sie wie bei einem Videospiel eine Aufgabe eingeblendet und reagieren mit einem Joystick darauf.

Die ersten Ergebnisse verblüfften. DaimlerChrysler-Forscher Stefan Hahn, Leiter der Abteilung Maschinelle Perzeption, fand zusammen mit einem Team um den Psychiater Manfred Spitzer von der Universitätsklinik Ulm heraus, dass männliche und weibliche Versuchspersonen ihren Weg durch ein Labyrinth – oder eben auch das Straßengewirr einer Stadt – auf unterschiedliche Weise finden. Die meisten Männer orientieren sich, indem sie eine Wegkarte im Kopf zeichnen, während Frauen sich mehr an markanten Umgebungspunkten entlangtasten. „Dieser Unterschied", so interpretiert Hahn das Ergebnis, „spricht beispielsweise dafür, auf den Displays von Navigationssystemen unterschiedliche Bildinformationen anzubieten – etwa Straßenkarten für Karten- und Fotos für Landmarkeninterpretierer."

Freilich eignet sich der etwa drei Meter lange Tomograph nicht für den mobilen Einsatz. Außerdem kann eine fMRT-Untersuchung nur in einem magnetisch abgeschirmten Raum erfolgen, um magnetische Störungen auszuschließen. Als mobilen Gehirnspäher setzten die Neurophysiologen deshalb im Fahrsimulator oder auf der Straße einen Elektroenzephalographen (EEG) ein, der die Gehirnströme über Elektroden am Kopf abgreift und so ein Aktivitätsmuster erzeugt. Leider liefert dieses Verfahren nur sehr grobe räumliche Bilder. Bessere Auflösungen erhoffen sich die Forscher von einem neuartigen mobilen Tomographen, der mit Laserstrahlen im nahen Infrarot arbeitet; er soll eine ähnlich gute Sicht ins Gehirn liefern wie fMRT. Der Sensor wird wie beim EEG-Verfahren direkt auf die Schädeldecke aufgesetzt. Das Laserlicht dringt bei dieser Wellenlänge bis zu sechs Zentimeter tief ins Gehirn ein und wird dort an aktiven Hirnzellen mit hohem Sauerstoffverbrauch reflektiert. Zwar stecken all diese neurophysiologischen Untersuchungen noch in den Kinderschuhen und niemand weiß, wie wertvoll ihre Resultate sein werden. Aber Stephan Hahn ist optimistisch: „Es wäre auf jeden Fall ein Fehler, ihre Chancen nicht sorgfältig auszuloten." ■



PSYCHOLOGIE

Mythos Unverwundbarkeit

Stimmt die These, dass Sicherheitssysteme weniger die Sicherheit erhöhen, sondern eher die Risikobereitschaft steigern? Ein Gespräch mit dem ADAC-Sicherheitsexperten und Diplom-Psychologen Franz Schibalski.

Spektrum: *Die Zahl der Unfalltoten ist in den letzten zwanzig Jahren um die Hälfte zurückgegangen. Die Automobilindustrie schreibt sich das zum Großteil zugute. Zu Recht?*

Schibalski: Hauptgrund dafür sind in der Tat – neben dem sehr wirksamen Rettungswesen – Sicherheitsfahrgastzelle, Gurtsystem und Airbag, die den Fahrer vor der Wucht des Aufpralls schützen. Doch diese Systeme haben mittlerweile einen hohen Grad an Perfektion erreicht. Nun suchen die Fahrzeughersteller nach neuen Möglichkeiten, die Sicherheit weiter zu verbessern, aber nicht alle dieser Neuentwicklungen erfüllen die Erwartungen. Sicherlich auch, weil offenbar die Risikobereitschaft mancher Fahrer zunimmt.

Spektrum: *Gibt es Studien, die das belegen?*

Schibalski: Als Ende der 70er Jahre das Antiblockiersystem eingeführt wurde, untersuchten Wissenschaftler dessen Einfluss auf das Fahrverhalten. Dabei zeigte sich, dass Berufskraftfahrer mit ABS häufiger in Unfälle verwickelt waren als eine Kontrollgruppe ohne ABS. Sie hatten den Sicherheitsgewinn durch dichteres Auffahren, höhere Geschwindigkeit und häufigeren Spurwechsel aufgebraucht. Die Verkehrspsychologen sprechen hier von einer Kompensation oder gar Überkompensation der wachsenden Sicherheit durch ein risikobereiteres Fahrverhalten.

Franz Schibalski

Spektrum: *Welche Systeme fördern diesen Effekt in besonderem Maße?*

Schibalski: Zum Beispiel das Antischlupfsystem. Es sorgt für optimale Kraftübertragung und ermöglicht zügiges Beschleunigen auch bei schlechten Straßenverhältnissen wie Schnee oder Eis. Dem Fahrer fehlen aber dadurch Rückmeldungen über die unterschiedliche Haftung der Räder, und er ist verleitet, stärker zu beschleunigen, als ratsam ist. Auch die künftigen Assistenzsysteme bergen Gefahren. Wenn der Computer den Abstand zum Vordermann kontrolliert – ist er dann nicht schuld, wenn ich im Nebel zu dicht auffahre?

Spektrum: *Lässt sich dem entgegenwirken?*

Schibalski: Zunächst sollten Hersteller aufhören, die Kompensation noch aktiv zu fördern. Werbekampagnen suggerieren doch oft Unverwundbarkeit dank Technik. Der Verband der Automobilindustrie hat deshalb den „Beobachterkreis Automobilwerbung“ eingerichtet. Der interveniert, wenn in der Auto- oder Zubehörreklame die Sicherheit auf der Strecke bleibt oder fragwürdiges Verhalten dargestellt wird.

Spektrum: *Müssen Sicherheitssysteme denn zwangsläufig solche negativen Effekte haben?*

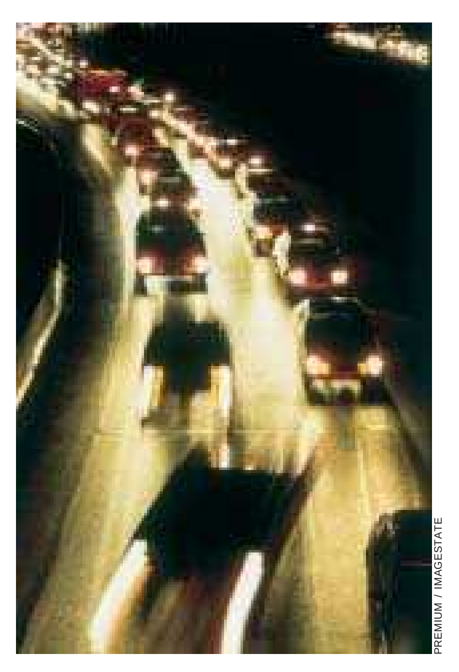
Schibalski: Keineswegs, wenn sie dem Fahrer frühzeitig melden, dass er nahe dran ist, sich in kritische Bereiche hinsichtlich Tempo, Abstand und so weiter zu manövrieren. Aus psychologischer Sicht sind jene Systeme die besten, die ihre Aufgaben fast unbemerkt verrichten.

Spektrum: *Muss der Autofahrer den Umgang mit neuen Sicherheitssystemen nicht vielleicht erst erlernen?*

Schibalski: Unbedingt, und Fahrzeughersteller sollten den Käufern Schulungen anbieten. Es gibt zwar solche Angebote, die sollen aber vor allem den Fahrspaß vergrößern. Schulungsprogramme zum richtigen Umgang mit der Sicherheitstechnik könnten vielleicht den Eindruck erwecken, das Fahrzeug sei nur schwer zu beherrschen.

Spektrum: *Der ADAC bietet seit über 25 Jahren Sicherheitstrainings an. Besteht nicht auch da die Gefahr einer Überkompensation des Sicherheitsgewinns?*

Schibalski: Das Risiko ist da, wenn der Fahrer meint, sein Auto besser zu beherrschen und nun schneller fahren zu können. Um dem vorzubeugen, sind die Trainer des ADAC besonders geschult und qualifiziert. Übrigens gehören solche Themen eigentlich auch in die Fahrschule. Die wenigsten üben zum Beispiel Notbremsungen.



PREMIUM / IMAGESTATE

Elektronische Systeme geben Fahrern oft ein Gefühl von Sicherheit und verleiten zu waghalsigem Verhalten.

Spektrum: *Könnte der Fahrer nicht sogar den Bezug zu Fahrzeug, Straße und Geschwindigkeit ganz verlieren?*

Schibalski: Auch diese Gefahr besteht. Immer bessere und teilweise aktive Sicherheitsfahrwerke, Antischlupfsysteme oder perfekte Sensorik, Elektronik, die unbemerkt wirkt – mancher Fahrer einer Limousine würde vermutlich sofort das Tempo drosseln, wenn er Fahrzeug und Straße so wahrnehmen würde, wie ein Kollege im Kleinwagen. Zu dieser Entfremdung gesellt sich dann mehr und mehr eine Überflutung des Fahrers mit ablenkenden Informationen etwa vom Navigationssystem oder Handy. Zu 95 Prozent nehmen wir das Verkehrsgeschehen mit dem Auge wahr. Dieses Sinnesorgan darf nicht mit visuellen Reizen überlastet werden.

Spektrum: *Was würden Sie Fahrzeugherstellern raten?*

Schibalski: Mehr nach den Auswirkungen neuer Techniken auf das Fahrverhalten zu fragen. Menschen machen Fehler und haben Schwächen. Die technische Machbarkeit darf nicht zum Maßstab werden. ■

Interview: ***Sebastian Moser****, Wissenschafts- und Technikjournalist in München und Stuttgart*

Energietechnik: MVV Energie AG

Feuer und Flamme für Biomasse

Dezentrale Kleinanlagen zur Energieerzeugung scheinen eine viel versprechende Alternative zu Großkraftwerken, erlauben sie Städten und Gemeinden doch Personal sparend und mit überschaubaren Investitionen zu kalkulieren. Eine Option dabei sind Anlagen, die Holz, Ernteabfälle oder auch Faulgase verbrennen (siehe dazu Spektrum der Wissenschaft 5/2000, S. 90). Unternehmen der Branche schätzen, dass Biomasse etwa 6 bis 13 Prozent des Energiebedarfs in Deutschland decken kann. Derzeit sind es noch nicht einmal ein Prozent – und dies auch nur, wenn man Müll- und Klärschlammverbrennung einrechnet.

Der Mannheimer Energieversorger MVV Energie AG, das bislang einzige kommunale Unternehmen, das an der Börse notiert ist, strebt in diesem Marktsegment eine führende Rolle an. Drei Biomasseheizwerke, die Wärme aus Holz gewinnen, sind in Betrieb oder im Bau; ein umgebautes Industrie-Kraftwerk erzeugt Wärme beziehungsweise Dampf und Strom, und an vier weiteren Standorten weit ab von der Konzernzentrale soll zukünftig Altholz „verstromt“ werden. Die MVV Energie AG baut und betreibt Heizanlagen im Auftrag von Kommunen und finanziert das Projekt jeweils über den Verkauf der Energie. So auch im bayerischen Ruhpolding und schon bald in Bad Endorf und in Dannenberg. In Bad Endorf soll ein Zwei-Megawatt-Kessel, beheizt mit Holzhackschnitzeln, die Wärmeversorgung zweier Kliniken, des Thermalbades, des Rathauses und einer Schule sichern sowie auch noch Wärme in ein Neubaugebiet mit rund neunzig Wohneinheiten liefern. Ein schon vorhandener Öl-Kessel muss nur noch den Spitzenbedarf decken, soll also höchstens zehn Tage im Jahr laufen.

Spagat zwischen Jahrhunderten

Neubaugebiete lohnen sich aber nur selten, denn seit Februar 2002 fördert die Energieeinsparverordnung Niedrigenergie-Häuser, die zu wenig Energie benötigen. Doch Altbauten mit veralteten Heizanlagen oder Großabnehmer wie Kliniken, Schulen und Schwimmbäder lohnen. Steigt der Heizölpreis auf etwa 35 Cent pro Liter, rechnet sich auch für den Privatmann der Anschluss an die Nahwärme eines Biomasse-Kraftwerks.

Die Feuerungstechnik ist ein Spagat zwischen den Jahrhunderten. Angefeuert wird ein Brennkessel wie zu Urgroßmutters Zeiten mit Streichholz und Papier; doch danach läuft die Anlage vollautomatisch.

In Ruhpolding beispielsweise drückt eine Transportschnecke die Hackschnitzel in den Kessel (so genannte Unterschubfeuerung), sodass sie langsam von oben nach unten verbrennen. Der Vorteil: geringere Investitionskosten für kleine Anlagen unterhalb von einem Megawatt Leistung. Schwierigkeiten gibt es allerdings, wenn das Holz nicht sauber gehackt, sondern geschreddert wurde: Lange Fasern wickeln sich dann nämlich leicht um die Schnecke und blockieren die Anlage. Zu feucht sollte das Holz auch nicht sein, aber unterhalb von 15 Prozent Feuchte wird die Belastung des Feuerraums zu groß.

Mehr Flexibilität bietet ein Vorschubrost, wie er in den meisten Müllverbrennungsanlagen und auch in dem Heizwerk von Bad Endorf eingesetzt wird. Durch die Hin- und Herbewegung schichtet er den Brennstoff beständig um und transportiert ihn langsam in Richtung Ausbrandzone. Rinde und Grünschnitt bis hin zum Schreddermaterial verbrennen auf diese Weise mit einem hohen Wirkungsgrad von 85 Prozent (15 Prozent gehen über die Abluft verloren).

Als Abfall fallen nur Aschen an, die teilweise im Landschaftsbau oder in der Waldwirtschaft als Dünger verwendet werden. Rindenreste können allerdings auch das Schwermetall Cadmium enthalten, ihre Rückstände kommen auf die



FOTOS: MARTIN BOECKH

Im Brennraum einer Biomasseheizanlage (links) wird aus Altholz Energie. Als Brennmaterial dienen Holzhackschnitzel wie die aus dem Lager des Biomasseheizwerkes Ruhpolding; sie verbrennen mit einem Wirkungsgrad von 85 Prozent.



Das Unternehmen im Profil

Die MVV GmbH ist eine Holdinggesellschaft der Stadt Mannheim und besteht aus der MVV Verkehr AG und der MVV Energie AG. Etwa 28 Prozent der Aktien werden frei an der Börse gehandelt. Die MVV Energie AG hat 3600 Mitarbeiter. Mit rund 1,2 Milliarden Euro Jahresumsatz zählt sie zu den zehn größten regionalen und kommunalen Energieversorgern Deutschlands. Zu den Schwerpunkten zählt die Versorgung mit Strom, Erdgas, Fernwärme, Trinkwasser sowie Entsorgung. Zudem erprobt die MVV derzeit den Internetzugang für Endkunden über das Stromnetz.

Deponie, ebenso Flugaschen, die bei der Wäsche des Rauchgases entsteht (die Wäsche senkt Staub-Emissionen auf den Grenzwert von unter 50 Milligramm pro Normkubikmeter).

Eine wirtschaftlich wie ökologisch interessante Energiequelle ist Altholz wie alte Holzbalken oder -fenster. Dieses Material soll in Zukunft „verstromt“ werden. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) macht Investitionen in solche Anlagen interessant. Es garantiert den Betreibern entsprechender Anlagen neuerdings Einnahmen von 9 bis 10 Cent pro ins Netz eingespeister Kilowattstunde, die der überregionale Netzbetreiber zu vergüten hat. Dieser legt die Kosten über den Strompreis wieder auf die Allgemeinheit um. Allerdings ist der Aufwand für die Abluftreinigung wesentlich größer, denn das Altholz ist meist mit Farbe, Holz- oder Feuerschutzmitteln belastet.

Entsprechende Anlagen lohnen sich aber dennoch: Mindestens vier Millionen Tonnen solchen Abfalls gibt es pro Jahr in Deutschland, und zwar in der Regel umsonst, wenn nicht sogar für die Entsorgung noch bezahlt wird. Mit über 250 Millionen Euro will die MVV in vier Kleinkraftwerke investieren, die vorrangig Fensterrahmen und Altholz aus der Bauindustrie verfeuern. Durchschnittlich rund 20 Megawatt elektrische Leistung sollen diese Anlagen bei Wiesbaden, Königs-Wusterhausen bei Berlin, Misburg bei Hannover und in Mannheim schon ab dem Jahr 2003 liefern.

Martin Boeckh

Der Autor studierte Physik und Geographie. Er ist freier Wissenschaftsjournalist in Gaiberg bei Heidelberg.

ARCHÄOLOGIE

Frühe Spuren der Kelten

Die Keltengräber vom hessischen Glauberg zählen zu den bedeutendsten archäologischen Entdeckungen der letzten Jahrzehnte in Europa.

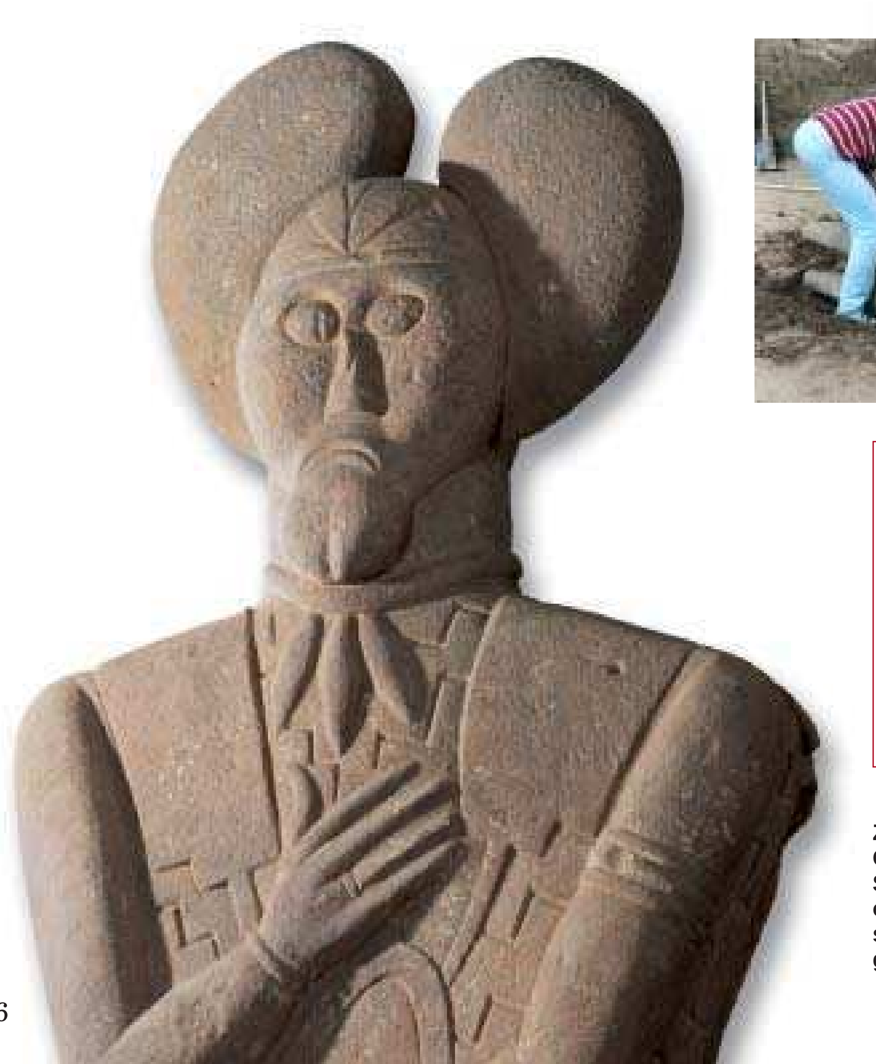
Von Matthias Mochner

Der Glauberg, eine Basaltkuppe am Ostrand der Wetterau in Hessen, ist für die Archäologen kein unbeschriebenes Blatt. So befinden sich hier die Reste einer Befestigungsanlage aus fränkischer Zeit. Die frühesten Besiedlungsspuren gehen indes bis in die Jungsteinzeit zurück. Als aber Archäologen des hessischen Landesamtes für Denkmalpflege 1994 darangingen, einen am Fuße des Glaubergs entdeckten Grabhügel zu erforschen, konnten sie nicht ahnen, dass ihre Grabungen ein völlig neues Licht auf die frühkeltische Geschichte dieser Region werfen würden.

Zwei reich ausgestattete Fürstengräber aus dem 5. vorchristlichen Jahrhundert, die bis 1995 freigelegt wurden,weisen auf die Bedeutung dieses Ortes zu keltischer Zeit hin. Die Wissenschaftler bargen die Bestattungen zunächst als Ganzes im Block und durchleuchteten sie im Labor mit Röntgenstrahlen. Zu Tage kamen schließlich wertvolle Grabbeigaben aus Bronze, Eisen und Gold, darunter eine bronzene Schnabelkanne, die in ein Leinentuch geschlagen und mit farbigen Bändern umwickelt war, und eine ebenfalls bronzene Röhrenkanne, ein sehr selten aufgefundener Gefäßtyp.

Der heute völlig verflachte, einst rund sechs Meter hohe Grabhügel hat einen Durchmesser von 48 Metern. Begrenzt wird er durch einen etwa zehn Meter breiten Kreisgraben, dessen äußerer Durchmesser rund siebzig Meter beträgt. Die Tiefe des Grabens, der im Südosten eine Lücke aufweist, variiert zwischen zwei und knapp vier Metern. Diese Dimensionen ließen die Grabanlage am Glauberg dem berühmten Großgrabhügel des Keltenfürsten von Hochdorf in Baden-Württemberg als durchaus ebenbürtig erscheinen, der Ende der 70er Jahre freigelegt worden war und der sich als das erste ungestört gebliebene Zentralgrab aus frühkeltischer Zeit auf deutschem Boden entpuppt hatte.

Jedoch schon bald erkannte das von dem Landesarchäologen Fritz-Rudolf Herrmann geleitete Team, dass die Fürstengräber vom Glauberg in ihrer Bedeutung wohl noch weit größer sind. Wie nämlich die weiteren Grabungen belegten, wurde der Großgrabhügel nicht isoliert angelegt, sondern stand in Zusammenhang mit einer riesigen Anlage, die sich in West-Ost-Richtung über fast zwei Kilometer erstreckt und in Nord-Süd-Richtung ähnlich weit ausgedehnt ist (siehe „Die Fürstengräber am Glauberg“, Spektrum der Wissenschaft Dossier Archäologie 1/2001, S. 12). Diese Kombination aus Fürstensitz, Heiligtum und Grabmal wirft zahlreiche Fragen über die Frühzeit der Kelten in Europa auf.



ALLE BILDER: MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DES LANDESAMTS FÜR DENKMALPFLEGE HESSEN

Die Schirn Kunsthalle Frankfurt zeigt die sensationellen Funde vom Glauberg jetzt erstmals in ihrem historischen Kontext. Die Ausstellung „Das Rätsel der Kelten vom Glauberg. Glaube – Mythos – Wirklichkeit“ ist vom 24. Mai bis 1. September 2002 zu sehen. Öffnungszeiten: Mittwoch bis Samstag 11–22 Uhr, Dienstag und Sonntag 11–19 Uhr.

Zu den bedeutendsten Funden am Glauberg gehört diese lebensgroße Statue eines keltischen Kriegers mit ohrenförmiger Blattkrone. Die Sandstein-Skulptur wurde fast unversehrt geborgen; nur die Füße fehlten.

Zu den sensationellen Entdeckungen am Glauberg gehören vier steinerne Großplastiken, von denen eine fast vollständig, die drei übrigen in Bruchstücken erhalten sind. Sie wurden 1996 in einem westlichen Grabenzug nahe des Kreisgrabens gefunden. Über die ursprüngliche Aufstellung dieser im Wesentlichen identischen Statuen kann nur spekuliert werden. Die Fundlage deutet allerdings darauf hin, dass keine der Statuen einst auf dem Grabhügel aufgestellt war.

Die Archäologen müssen nun andere Kelten-Funde umdatieren

Die 186 Zentimeter hohe, bis auf die Füße vollständig erhaltene und 230 Kilogramm schwere Sandstein-Skulptur liefert wichtige Einblicke in die Vorstellungswelt der frühen Kelten. Ihre Ausstattung mit Schild, Panzer und Schwert gleicht in auffälliger Weise derjenigen des etwa 30-jährigen Mannes, der im Grab 1 des Großgrabhügels bestattet worden war. Die Statue selbst widerlegt auch die lange gültige Ansicht, dass die Tradition vollplastischer, durch die Skulptur der Griechen beeinflusster Darstellungen in der keltischen Welt nach dem so genannten Krieger von Hirschlanden, einer Steinfigur aus dem 6. Jahrhundert v. Chr., nicht mehr fortgeführt worden sei.

Die anderen drei Statuen mussten aus den aufgefundenen Bruchstücken rekonstruiert werden. Identifiziert wurden diese anhand der Färbungen des Sandsteins – rötlich, tiefbraun und weiß. Dabei konnte im Falle der „weißen" Statue nachgewiesen werden, dass der Sandstein einst durch Kontakt mit Lava entfärbt wurde.

Die natürliche Farbigkeit der vier Steinfiguren hatte wohl keinen Einfluss auf ihre Platzierung in der Nähe des Grabhügels. Vielmehr vermuten die Forscher, dass die Statuen früher bemalt waren. Allerdings konnten bislang keine Farbpigmente an ihnen nachgewiesen werden.

Erhebliche Konsequenzen hat die Datierung der Glauberger Statuen für andere bekannte keltische Großplastiken. So waren beispielsweise die Fragmente von zwei lebensgroßen Steinstatuen aus dem kelto-ligurischen Felsenheiligtum von Roquepertuse in Südfrankreich auf Ende 4./Anfang 3. Jahrhundert v. Chr. datiert worden. Auf Grund der großen Ähnlichkeiten mit den Keltenfürsten ▶



Dieser Männerkopf mit Schnurrbart zierte eine Röhrenkanne aus Grab 2.

vom Glauberg nimmt die französische Forschung für diese Statuen nun ebenfalls das 5. vorchristliche Jahrhundert als Entstehungszeit an.

Die Bedeutung der vier keltischen Großplastiken ist noch längst nicht erschöpfend geklärt. Ihre Vorbilder sind im westlichen Mittelmeerraum zu suchen, der wiederum durch die Westgriechen beeinflusst wurde. Ein Vergleich mit den heute bekannten keltischen Großplastiken des 5. vorchristlichen Jahrhunderts aus Italien, Kroatien, Portugal, Spanien und Südfrankreich dürfte etliche neue Erkenntnisse liefern. Die Forschungen am Glauberg wirken sich gegenwärtig, so Herrmann, „keltenweltweit“ aus.



Die bronzene Schnabelkanne aus Grab 1 ist rund fünfzig Zentimeter hoch.

Neben den Großplastiken haben die Archäologen am Glauberg noch eine weitere wissenschaftliche Sensation entdeckt: eine auf den Grabhügel zuführende „Prozessionsstraße“ von etwa zehn Meter Breite. Von diesem Weg sind bisher zwar nur etwa zwanzig Meter Länge ergraben, doch muss er mindestens 350 Meter lang gewesen sein, wie geomagnetische Untersuchungen ergaben. Eine solche – vermutlich sakrale – Wegführung war in Europa bisher unbekannt.

Die geomagnetischen Prospektionen, die am Glauberg durchgeführt wurden, umfassen mittlerweile eine Fläche von 250 Hektar. Damit stellen sie eine der aufwendigsten Untersuchungen dieser Art weltweit dar. Etwa zwanzig weitere Fundstellen konnten auf diese Weise lokalisiert und dokumentiert werden. Abgeschlossen sind die Forschungen am Glauberg also noch lange nicht. So wurde 1999 in nur 250 Meter Entfernung vom Großgrabhügel ein weiterer, jedoch kleinerer Grabhügel entdeckt, der ebenfalls eine fürstliche Bestattung enthielt. Die Konservierung der Fundstücke ist noch nicht abgeschlossen. Ihre Auswertung wird zweifellos weitere Antworten über die Geschichte der Kelten liefern. ■

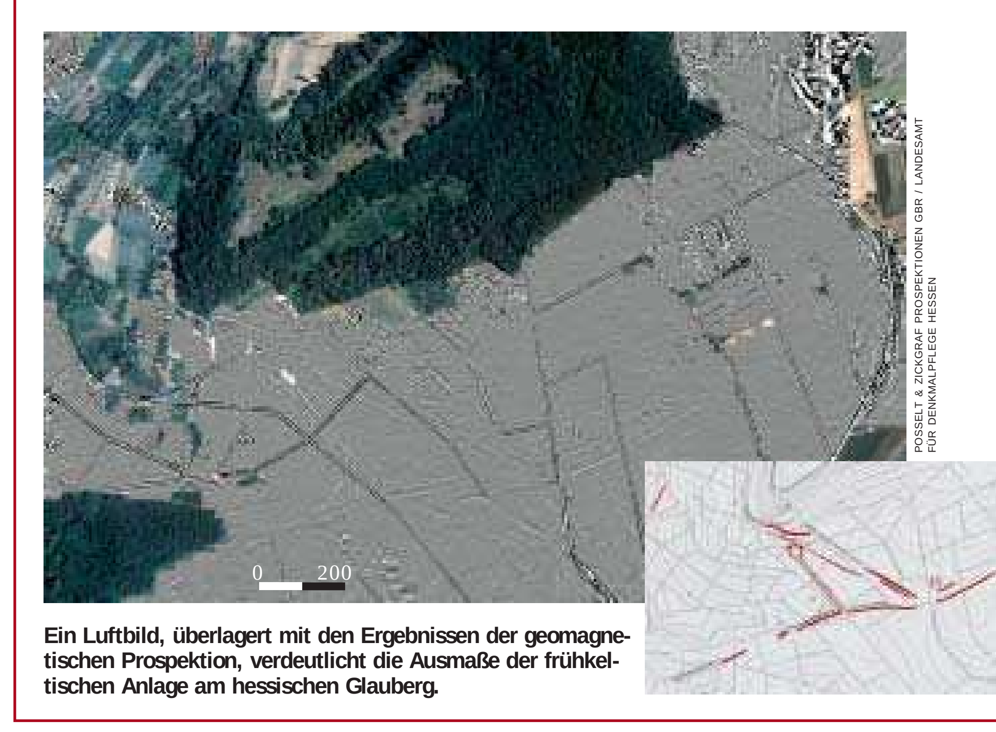
Matthias Mochner *arbeitet als freier Journalist, Reiseleiter und Museumsführer in Berlin.*

Die Grabungen am Glauberg und ihre Bedeutung

„Auswirkungen keltenweltweit“

Interview mit dem Archäologen Fritz-Rudolf Herrmann, der die Ausgrabungen des Landesamts für Denkmalpflege Hessen am Glauberg in der Wetterau leitete.

Spektrum der Wissenschaft: *Herr Dr. Herrmann, welche Funktion hatten die vier lebensgroßen Steinskulpturen?*
Herrmann: Das ist unbekannt. Aber zweifellos stellen sie Heroen dar, also vergöttlichte Ahnen. Aus der Antike kennen wir die Anlage eines solchen heiligen Bezirks, eines so genannten Herons, wo mystische oder reale Ahnen verehrt wurden, auch in ihren Standbildern. Genau das trifft am Glauberg zu.
Spektrum: *Was ist das Besondere an dieser Anlage?*
Herrmann: Die enge räumliche Verbindung: das Grabmahl der Ahnen unterhalb der Burg der Keltenfürsten, daneben der heilige Bezirk mit den Heroenstandbildern. Und das Ganze ist eingebettet in ausgedehnte Grabenwerke, von denen eine Prozessionstraße zu dem Grabhügel führt. In diesem riesigen Bezirk befindet sich auch ein großes Wasserreservoir, das wohl kultischen Zwecken diente.
Spektrum: *Wo standen die vier Statuen?*
Herrmann: Mit Sicherheit nicht auf dem Hügel. Wir nehmen an, dass sie sich ursprünglich in dem Bereich des heiligen Bezirks befanden, vor allem auch deswegen, weil wir anhand der Bruchstücke wissen, dass dort mindestens vier Statuen standen.
Spektrum: *Gleichen sich die Statuen?*
Herrmann: Es sind vier identische Figuren. Zwar gibt es Abweichungen im Detail. Aber auf jeden Fall sind es Krieger mit Panzer, mit Halsring und mit mistelförmiger Blattkrone. Unter den Funden aus diesen Gräbern, von denen jeder einzelne eine Besonderheit darstellt, weil es alles Gegenstände sind, die speziell für die Fürsten angefertigt wurden, ragen diese vier Statuen nochmals heraus.
Spektrum: *Gibt es Vorbilder für die Glauberger Anlage?*
Herrmann: Anregungen für die Statuen könnten aus dem Raum rings um die Adria gekommen sein. Doch haben wir keine direkte oder indirekte schriftliche Überlieferung dafür. Aber wir haben in den Hochkulturen im Mittelmeerraum Heiligtümer, die sich aus einem Ahnengrab entwickelt haben – etwa das Grab des Pelops auf der Peloponnes. Wir haben hier am Glauberg eigentlich dasselbe: Ein Grab der Ahnen, die in ihren Sta-



POSSELT & ZICKGRAF PROSPEKTIONEN GBR / LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE HESSEN

Ein Luftbild, überlagert mit den Ergebnissen der geomagnetischen Prospektion, verdeutlicht die Ausmaße der frühkeltischen Anlage am hessischen Glauberg.

(Seiten 100, 101 und 102: Anzeige und Beihefter)

tuen verehrt wurden. Über die paar Fundstücke hinaus müssen wir die Anlage vor diesem antiken geistigen Hintergrund sehen.

Spektrum: *Gibt es vergleichbare Anlagen der frühen Kelten?*

Herrmann: Die Schwierigkeit ist: Es gibt nichts wirklich Vergleichbares. Wir können nur vermuten. Doch spricht alles dafür, dass es sich am Glauberg um eine sakrale Anlage handelt.

Spektrum: *Und die Prozessionsstraße?*

Herrmann: Eine solche gibt es nicht nur in den altorientalischen Kulturen, sondern überall, sogar in China. Es scheint, dass Menschen, wenn sie einen besonders ausgezeichneten Punkt hatten, auch den Zugang zu diesem besonders gestalteten. Hier sind es zwei parallele Gräben, die in den Kreisgraben des Grabhügels einmünden und die zwischen sich einen Raum von zehn Meter Breite frei lassen.

Spektrum: *In welche Richtung werden die Forschungen am Glauberg in den kommenden Jahren gehen?*

Herrmann: Wir haben uns bemüht, einen gewissen Abschluss zu finden – jedoch im vollen Bewusstsein, dass das meiste noch unbekannt ist. Nur durch die Geomagnetik haben wir beispielsweise 1999 den kleineren, zweiten Grabhügel entdeckt. Was durch Geophysik, Geomagnetik und Geoelektrik möglich ist, das haben wir rausgeholt. Doch wissen wir über die Annexwälle im Bereich des Wasserreservoirs noch kaum Bescheid. Die Analyse des in der Schnabelkanne aus Grab 1 nachgewiesenen Honigs, der Pollen verschiedener Blütenpflanzen enthält, könnte Hinweise auf die Größe des Herrschaftsgebietes der Keltenfürsten vom Glauberg erbringen.

Spektrum: *Haben die Entdeckungen am Glauberg zu verstärkten Forschungen an anderen keltischen Stätten geführt?*

Herrmann: Ja. Sie waren schon sehr anregend für weitere Stätten. Etwa für die Heuneburg an der oberen Donau. Dort gibt es ebenfalls Grabenanlagen, deren Datierung bislang unklar war und die jetzt in die Zeit der Glauberger Anlage gestellt werden. Und in Hochdorf wurden extra um den Grabhügel herum nochmals Untersuchungen durchgeführt, die jedoch keine derartigen Grabenanlagen wie am Glauberg erbrachten. Doch bin ich ganz sicher, dass es Vorstufen zu der Glauberger Anlage gegeben hat. Nur gefunden wurde noch nichts.

Die Fragen stellte ***Matthias Mochner*****.**

SATELLITEN-NAVIGATION

Orientierungshilfe dank Galileo

In Konkurrenz zu dem militärischen Global-Positioning-System der USA baut Europa ein eigenes, ziviles Satellitensystem zur weltumspannenden Navigation auf.

Von Wolfgang Engelhardt

Ende März trafen die Verkehrsminister der Europäischen Union die offizielle Entscheidung: Die EU und die Europäische Raumfahrtbehörde Esa bauen gemeinsam ein ziviles Navigationssatellitensystem. Galileo, so der Name des Projekts, nutzt die gleiche Technologie wie das bereits in Betrieb befindliche GPS (Global Positioning System) der USA: Eine Armada von Satelliten umkreist die Erde und sendet Funksignale zum Erdboden, die überall mit handlichen Empfängern registriert werden können. Ein Rechner im Empfänger ermittelt aus den Signalen die genaue Entfernung zu den Satelliten und kann daraus die Position des Empfängers bestimmen. Voraussetzung ist dabei, dass die Funksignale eine präzise Zeitinformation übermitteln, und dass die Signale von mindestens drei Satelliten empfangen werden.

Wenn es aber schon mit GPS ein globales Satellitennavigationssystem gibt, warum bauen die Europäer dann noch eines auf? Der Hauptgrund ist eher politischer Natur: GPS wird vom US-Militär betrieben und kann jederzeit – etwa in Krisenfällen oder um wirtschaftlichen Druck auszuüben – für die Öffentlichkeit abgestellt werden, um dann nur noch den Interessen der USA zu dienen. Für viele Anwendungen ist eine solche Abhängigkeit ein nicht zu akzeptierender Unsicherheitsfaktor. Die Einsatzmöglichkeiten der Satellitenortung und -navigation reichen von der Übermittlung präziser Zeitsignale bis zur Überwachung und Steuerung des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs.

Mit Galileo baut Europa nun ein ziviles Navigationssatellitensystem, das ab 2008 als präzises, jederzeit verfügbares und zuverlässiges Instrument zur weltweiten Satellitenortung dienen soll. Die Kosten für die Errichtung dieses Systems werden auf insgesamt 3,2 Milliarden Euro geschätzt. Ein Gutachten kommt jedoch zu dem Schluss, dass Galileo das 4,6fache dieses Betrages an Umsätzen generieren wird.

Das Galileo-System wird aus 30 Satelliten bestehen, aus 27 aktiven Funkstationen und drei Orbitreserven, welche die Erde in 23 600 Kilometer hohen Umlaufbahnen umkreisen mit 56 Grad Neigung gegen den Äquator. Damit wird ein besserer Abdeckungsgrad erzielt als mit dem heutigen GPS: Auch in höchsten nördlichen und südlichen Breiten werden die Signale der Galileo-Satelliten zu empfangen sein. Die modernere Technik erlaubt selbst einen Empfang in engen Häuserschluchten. Und schließlich ermöglicht die ständige Verfügbarkeit des Systems und seine Ausfallsicherheit auch sicherheitskritische Anwendungen wie etwa das Landen von Flugzeugen.

Galileo wird mit GPS indes nicht nur kommerziell konkurrieren, sondern es auch ergänzen. Damit wird eine Kontinuität der Ortungsdienste ermöglicht, die mit nur einem Satellitensystem nicht zu erzielen ist. Durch einen Chip, der die Signale von Galileo und GPS empfangen würde, könnten abhängig vom Aufenthaltsort die jeweiligen Stärken der beiden Systeme ausgenutzt werden. Bei der Anwendung ist die ESA übrigens seit Jahren versuchsweise aktiv mit dem europäischen Navigations-Überlagerungsdienst EGNOS. Dieser arbeitet mit speziellen Zeitsignal-Paketen auf den Inmarsat-Satelliten für Marine-Kommunikation zur Optimierung der GPS-Signale und Erprobung künftiger Navigationsdienste.

Mit seinem Doppelfrequenzstandard wird Galileo eine Echtzeitortung mit einer Präzision im Meterbereich ermöglichen. GPS ist mit etwa zwanzig Metern weniger genau. Vor allem wird die Architektur des Bodensegments weiter ausgefeilt, um die Errichtungs- und Betriebskosten deutlich niedriger zu halten.

Wenn Galileo in Betrieb ist, werden die Anwender die Orientierung wohl nie mehr verlieren. Mit GPS lässt sich bereits heute jede Straße in einer fremden Stadt finden. Mit Galileo wird man demnächst auch die Garage ausfindig machen können, in der das Auto des besuchten Freundes steht – ob in Amerika oder sonst wo auf der Welt. ■

Diplom-Ingenieur **Wolfgang Engelhardt** *ist Raumfahrt-Journalist in Köln.*



ASTRIUM



Das Satelliten-Navigationssystem Galileo wird aus dreißig Funkstationen bestehen, die in 23 600 Kilometer Höhe die Erde umkreisen. Ab dem Jahr 2005 sollen die ersten Signale zu empfangen sein; drei Jahre später wird das System den Planungen zufolge komplett sein.

ROBERT-WICHARD-POHL-PREIS

Unanschauliches anschaulich gemacht



ARTEMEDIA AG/UNIVERSITÄT TÜBINGEN

Ein simulierter Flug durch das Brandenburger Tor mit 99 Prozent der Lichtgeschwindigkeit eröffnet neue Ansichten auf Architektur und Physik.

Der Fortschritt der Physik hat uns im vergangenen Jahrhundert mehrere Beschreibungsweisen der Natur geliefert, die zwar experimentell genauestens überprüft sind, die aber nicht unbedingt mit unserer Alltagserfahrung übereinstimmen. Beispiele sind die Relativitätstheorie und die Quantenphysik. Selbst gestandene Physiker tun sich mitunter schwer, die mit diesen Theorien verbundenen Phänomene anschaulich zu beschreiben.

Ganz anders Hanns Ruder (62), Professor für Theoretische Astrophysik an der Universität Tübingen. Er hat sich zum Ziel gesetzt, Unanschauliches anschaulich zu machen. Seine Hilfsmittel sind Hochleistungsrechner und eine gehörige Portion didaktisches Geschick. Heraus kommen Computersimulationen, die nicht nur dem Fachmann, sondern auch dem Laien reihenweise Aha-Erlebnisse verschaffen.

Hanns Ruder

Wie steht es etwa mit der Längenkontraktion in der Relativitätstheorie? Wer glaubt, eine fast lichtschnell am Beobachter vorbeisausende Kugel werde zu einer Art Pfannkuchen gestaucht, der irrt: Die Kugel bleibt eine Kugel, nur ihre Oberfläche erscheint gedreht und verzerrt.

Ob ein Flug mit Fast-Lichtgeschwindigkeit durch das Brandenburger Tor, ob Raumkrümmung durch Schwarze Löcher oder die Wirkung eines Magnetfelds auf die Struktur eines Wasserstoffatoms: Ruder und sein Team können mit den im Computer erzeugten Bildern und Filmsequenzen selbst die exotischsten Naturphänomene physikalisch korrekt und anschaulich darstellen.

Zu Ruders Interessen gehören auch Fragen der Biomechanik: Was passiert bei einem Crash mit den Insassen eines Fahrzeugs? Mit welchen Sicherheitsvorkehrungen lässt sich ein Sturz vom Baugerüst möglichst unbeschadet überstehen? Die Antworten darauf sucht der Astrophysiker häufig in Kooperation mit der Industrie.

Für seine herausragenden Verdienste in der fachübergreifenden Forschung und der Physikvermittlung hat ihm die Deutsche Physikalische Gesellschaft nun den mit 5000 Euro dotierten Robert-Wichard-Pohl-Preis verliehen. Die Auszeichnung erinnert an den Göttinger Physiker Pohl, der unter anderem die Beugung von Röntgenstrahlen nachwies und gemeinsam mit dem Zoologen A. Kühn zeigte, dass Bienen auf Spektralfarben dressiert werden können; durch seine bahnbrechende Versuchstechnik in seinen Vorlesungen erwarb sich Pohl einen exzellenten Ruf als Didaktiker.

GOTTFRIED-WILHELM-LEIBNIZ-PREIS

Springende Blicke und erlahmendes Denken

Erfassen die Augen bei der Lektüre dieses Satzes ein Wort nach dem anderen oder mehrere gleichzeitig? Eine Frage, die sich durch Selbstbeobachtung kaum entscheiden lässt. Deshalb hat der Psychologe Reinhold Kliegl von der Universität Potsdam Computermodelle entwickelt, die den Ablauf der schnellen Augenbewegungen (Sakkaden) beim Lesen simulieren – in guter Übereinstimmung mit seinen experimentellen Befunden. Alles deutet darauf hin, dass tatsächlich mehrere Wörter auf einmal beim Lesen erfasst werden. Dabei können Aufmerksamkeits- und Blickrichtung durchaus verschieden sein. Aus diesen Ergebnissen erhofft sich Kliegl auch neue Erkenntnisse über die Ursachen von Leseschwächen.

Reinhold Kliegl (49) ist einer der zwölf diesjährigen Leibniz-Preisträger. Mit 1,55 Millionen Euro für experimentell bzw. die Hälfte für theoretisch ausgerichtete Forscher ist der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft verliehene Preis der höchstdotierte deutsche Förderpreis. Die Preisgelder sind zweckgebunden als Forschungsmittel einzusetzen, um so die Arbeitsbedingungen herausragender Wissenschaftler zu verbessern.

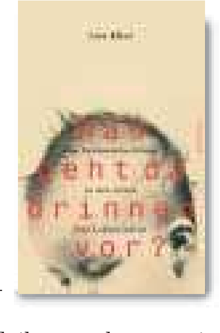
Nach dem Vordiplom in Regensburg studierte Kliegl bis zu seiner Promotion 1982 in Boulder (Colorado). Anschließend war er am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin, seit 1994 ist er Professor für Psychologie an der Universität Potsdam. In seinen Forschungen arbeitet er intensiv mit Physikern, Informatikern und Linguisten zusammen. Er befasst sich unter anderem mit den zentralen Funktionen unseres Arbeitsgedächtnisses, etwa beim Kopfrechnen oder bei der Sprachverarbeitung.



Reinhold Kliegl

In seinem zweiten großen Forschungsschwerpunkt befasst sich Kliegl mit dem Einfluss des Alters auf die kognitiven Fähigkeiten. Dabei gelang es ihm, die maßgeblichen kognitiven Prozesse zu identifizieren und deren Veränderung mit zunehmenden Alter messbar zu machen: Der Zugriff auf so genanntes überlerntes Wissen (etwa Wortbedeutungen oder der eigene Name) erfolgt demnach bei alten Menschen ebenso rasch wie bei jungen. Bei komplexen Kopfrechenaufgaben benötigen ältere Menschen dagegen im Vergleich zu jüngeren das Drei- bis Vierfache an Zeit. Bestimmte kognitive Fähigkeiten lassen sich bei alten Menschen jedoch, wie Kliegl demonstrieren konnte, durch ein gezieltes Training deutlich verbessern. Nicht alles muss demnach im Alter langsamer und schlechter funktionieren.

FRÜHKINDLICHE ENTWICKLUNG

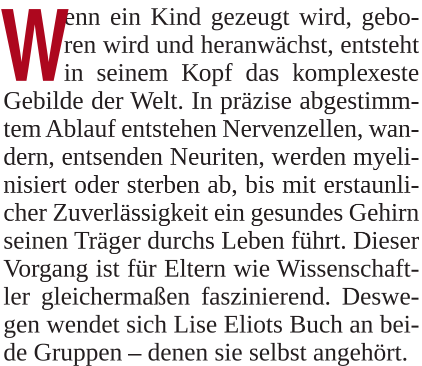


Lise Eliot

Was geht da drinnen vor?

Die Gehirnentwicklung in den ersten fünf Lebensjahren

Aus dem Amerikanischen von Barbara Schaden.
Berlin Verlag, Berlin 2001. 800 Seiten, € 29,–



Wenn ein Kind gezeugt wird, geboren wird und heranwächst, entsteht in seinem Kopf das komplexeste Gebilde der Welt. In präzise abgestimmtem Ablauf entstehen Nervenzellen, wandern, entsenden Neuriten, werden myelinisiert oder sterben ab, bis mit erstaunlicher Zuverlässigkeit ein gesundes Gehirn seinen Träger durchs Leben führt. Dieser Vorgang ist für Eltern wie Wissenschaftler gleichermaßen faszinierend. Deswegen wendet sich Lise Eliots Buch an beide Gruppen – denen sie selbst angehört.

Von Anfang an wird klar, dass sie sich sehr bewusst, und folglich sehr behutsam, auf das umkämpfte Gebiet zwischen Genen und Umwelt begibt. Inwieweit ist der Mensch Ergebnis seiner Vererbung oder seiner Erziehung? Um kein anderes Organ tobt die Debatte so heftig wie um das Gehirn. Eliot versucht gar nicht erst, hier einer Stellungnahme auszuweichen, aber sie verfasst auch keine Kampfschrift. Die grandiose Choreografie der Neurone, die Pünktlichkeit, mit der Babys auf der ganzen Welt zu lächeln, zu laufen, zu sprechen beginnen, machen klar, dass hier Abläufe programmiert sind, in die eine wechselhafte Umwelt nicht hineinpfuschen darf. Und doch kann schon die Erfahrung im Mutterleib manche genetische Prädisposition über den Haufen werfen, sind viele Vorgänge enorm zu beschleunigen, wenn sie gefördert werden, und ist ein Kind überhaupt so vielen psychischen, sozialen, kulturellen Einflüssen ausgesetzt, dass einfache Formeln sich von selbst verbieten.

Besonders deutlich wird das Wechselspiel zwischen Genen und Umwelt an den sensiblen Phasen, kurzen Zeiträumen, in denen bestimmte Strukturen des Gehirns besonders labil und damit offen für Umwelteinflüsse sind. Manche, wie der Wachstumssprint im zweiten Schwangerschaftsdrittel, sind unvermeidliche Risikozeiten, viele andere aber werden gezielt bereitgestellt, damit eine Form von „Prägung" stattfinden kann, so etwa die sensible Phase für das Sprachlernen.

Die erste Art sensibler Phasen hat gerade in den letzten Jahren erhöhte Aufmerksamkeit gefunden, geht es doch um die Gefahren, die Kindern vor oder nach der Geburt durch teratogene (Missbildungen befördernde) Substanzen drohen. Für die Erforschung der Gehirnentwicklung dagegen ist besonders die zweite Art spannend, denn noch ist kaum geklärt, weshalb und wodurch Teile des Nervensystems plötzlich vorübergehend äußerst plastisch werden. Es sind Gelegenheiten, bei denen die Gene gleichsam einen großen Tusch spielen, dann den Vorhang heben und der Umwelt weit das Fenster aufreißen. Die Gene sagen „Wann und wo", die Umwelt sagt „Was" – etwa mit dieser Formel versöhnt Lise Eliot meistens die Positionen.

Für den Neurobiologen ist es schade, dass sie alle Arten kritischer Phasen in einen Topf wirft und weder zu den organischen Grundlagen noch zum theoretischen Überbau etwas zu bieten hat. Zum Ausgleich entgeht ihr kaum eines dieser kritischen Entwicklungsfenster, vom Neuralrohrverschluss bis zum Sprechenlernen, und stets prüft sie, wie Eltern sie durch Förderung nutzen können.



Ein Netz aus etwa sechzig Elektroden liefert sehr viel präzisere Informationen über die Hirnströme als herkömmliche EEG-Messungen.

Es ist überhaupt erstaunlich, wie wenig der Autorin entgeht: Den vorgeburtlichen Einflüssen, der Geburt, der nachgeburtlichen Entwicklung jedes Sinnessystems, der Emotionen, des Gedächtnisses, der Bewegungen, der Intelligenz, der Sprache, der Sozialfähigkeit sind jeweils eigene umfangreiche Kapitel gewidmet. Eine so umfassende Darstellung der Kindesentwicklung erfordert Kenntnisse nicht nur in der Neurobiologie, sondern auch in Psychologie, Pädagogik, Soziologie und Linguistik. In jedem dieser Fächer ist Eliot hinreichend sattelfest, um die Fakten kundig, im Zusammenhang und mit vielen Beispielen darzustellen. Das reicht hin bis zu den Tücken der Grammatik im Kapitel über Sprachentwicklung – das in der Übersetzung übrigens durchweg deutschen Verhältnissen angepasst wurde; hierfür der Übersetze-

PHYSIK



John Stachel (Hg.)

Einsteins Annus mirabilis

Fünf Schriften, die die Welt der Physik revolutionierten

Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek 2001. 218 Seiten, € 9,90

Wenn wirklich – nach einem beliebten Verlegerspruch – jede Gleichung im Buch die Verkaufszahlen halbiert, wäre das vorliegende Buch absolut unverkäuflich, denn es enthält hunderte Formeln. Das ist jedoch unvermeidlich, da es Einsteins legendäre fünf Arbeiten aus dem Jahr 1905 versammelt, mit denen er die Physik revolutionierte. John Stachel und seine Kollegen, allesamt Herausgeber der großen Einstein-Werkausgabe, bieten kompetente, aber auch recht anspruchsvolle Einleitungen und Kommentare zu den Arbeiten. Ihre editorische Sorgfalt stört dabei manchmal: So hätten sie in diesem Taschenbuch-Digest die Druckfehler in Einsteins Arbeiten besser stillschweigend korrigiert, statt sie im Fußnotenapparat abzuhandeln.

Hier kann man einem Genie über die Schultern schauen. Aber man muss sich schon auf die Zehenspitzen stellen. Ganz ohne physikalische Vorbildung dürften sich die faszinierenden Details der Einstein'schen Arbeiten kaum erschließen.

Alexander Pawlak

Der Rezensent ist Diplom-Physiker und freier Wissenschaftsjournalist in Marburg.

rin großes Lob. Möglich ist diese Breite allerdings nur durch einen Verzicht auf Tiefe: Die verschiedenen Theorien und Erklärungsmodelle der jeweiligen Wissenschaften nicht nur anzureißen, sondern auch zu erläutern und gegeneinander abzuwägen, das versucht die Autorin nicht, nicht einmal in der Neurobiologie.

Das Buch ist in die Breite (650 Seiten plus Anmerkungen!) und für die Breite geschrieben. Eltern ohne biologische Vorbildung können es verstehen und werden es spannend finden. Lise Eliot schreibt angenehm flüssig und fesselnd, ohne jemals reißerisch zu werden. Das Buch profitiert davon, dass sie selbst dreifache Mutter ist. Eliot lässt ihre Erfahrungen reichlich in die Darstellung einfließen, und zwar nicht nur in Anekdoten, sondern vor allem in Form eines leichten, ansprechenden Stils, der das ganze Buch durchzieht. Die Darstellungsweise verrät einerseits Einfühlungsgabe gegenüber Kindern und andererseits eine gehörige Portion gesunden Menschenverstandes – beides keine typischen Wissenschaftlertugenden. Eliot behält stets eine sichere Distanz zu den Tatsachen und Erklärungsansätzen, die sie referiert. So vermag sie nach einem langen, ausführlichen Kapitel über teratogene Substanzen tröstlich festzustellen, dass „Schwangerschaft ein ganz normaler Zustand ist", für den eine Jahrmillionen dauernde Evolution Frauen bestens ausgestattet habe. Und nur ironisch in den Raum stellt sie die aufschlussreichen Differenzen zwischen Untersuchungen zur Schädlichkeit von Alkohol in der Schwangerschaft, je nachdem, ob diese in den rigiden USA oder in Frankreich durchgeführt wurden.

Abgesehen von dem allgemeinen Tenor – „Gene *und* Umwelt sind wichtig" – hat das Buch keine Botschaft. Eliot versucht nicht, die Tatsachen zu einer organischen Theorie zusammenzufügen, sondern begnügt sich mit einer Beschreibung des Geschehens, Kapitel für Kapitel nebeneinander. So widerspricht sie gelegentlich sich selbst oder einer Theorie, die sie eben erst kritiklos referiert hat. Aber sie häuft auch einen reichen Schatz an Wissen auf dem neuesten Stand an, von dem jeder profitiert, der sich für die Gehirnentwicklung interessiert. Das mag für ein wissenschaftliches Werk zu wenig sein; für Eltern, die unterhaltsam und kundig lernen wollen, was in ihrem Kind vorgeht, ist es genau richtig.

Konrad Lehmann

Der Rezensent ist promovierter Neuroanatom und arbeitet an der Universität Bielefeld über die Entwicklung der Gehirnstruktur von Säugetieren.

MEDIZIN

Manfred Stöhr

Ärzte, Heiler, Scharlatane

Schulmedizin und alternative Heilverfahren auf dem Prüfstand

Steinkopff, Darmstadt 2001. 216 Seiten, € 19,95



Entschlackungskuren, Akupunktur, Bachblüten-Therapie und Homöopathie – alternative Heilverfahren haben Konjunktur, während der Unmut der Patienten mit der Schulmedizin wächst. Manfred Stöhr, Direktor der Klinik für Neurologie und klinische Neurophysiologie am Klinikum Augsburg, verspricht die angebotenen Heilverfahren kritisch zu prüfen, aber auch die Schwächen der Schulmedizin herauszupräparieren und – soweit möglich – die beiden Welten miteinander zu versöhnen.

Tatsächlich liefert dieses Buch manchen Ansatz zur Konfliktbewältigung; aber gelungen ist dem Autor sein Vorhaben nicht.

Zu übermächtig war sein Bedürfnis, einem großen Unmut Luft zu machen. Auf den ersten 65 Seiten polemisiert er gegen „vorrationale" Heilweisen, deren theoretische Konzepte zum Beispiel auf der Säftelehre der Antike stammen – es gibt keine Schlacken im Körper! – oder, wie bei der Homöopathie, auf Irrtümern ihres Begründers beruhen. Stöhr bedauert, dass die Erfolge der Schulmedizin zu wenig gewürdigt werden, schimpft dann aber auch über Berufskollegen, die den Menschen nicht als komplexes Wesen begreifen, das sich nur teilweise wissenschaftlich erfassen lässt. Weil viele Ärzte kaum noch über das Computertomogramm oder den Laborbericht hinausschauen können, verlören Patienten das Vertrauen, von den hohen und zum Teil unnötigen Kosten der Apparatemedizin ganz abgesehen.

Nach dem allgemeinen Dampfablassen listet der Autor die alternativen Heilverfahren auf, beschreibt und kom- ▶



5×5 Test® Sachbuch Top Ten Mai 2002

Die Sachbuch-Rezensionen von wissenschaft-online (http://www.5x5test.de) enthalten eine Punktwertung: Für die Kriterien Inhalt, Vermittlung, Verständlichkeit, Lesespaß und Preis-Leistungsverhältnis vergibt der Rezensent jeweils bis zu fünf Punkte. Die Liste führt die zehn Bücher mit den höchsten Gesamtpunktzahlen auf (Erscheinungszeitraum der Rezensionen: 20. Februar bis 1. Mai 2002).

1. **Tom Standage** – 23 Punkte
Die Akte Neptun
Die abenteuerliche Geschichte der Entdeckung des 8. Planeten
Campus, 234 Seiten, € 21,50



2. **John Emsley** – 23
Phosphor – ein Element auf Leben und Tod
Wiley-VCH, 320 Seiten, € 24,90

3. **Stephen W. Hawking** – 21
Das Universum in der Nußschale
Hoffmann & Campe, 224 Seiten, € 25,95

4. **Philip Ball** – 21
H_2O. Biographie des Wassers
Piper, 476 Seiten, € 22,90

5. **Nicholas Wade** – 21
Das Genom-Projekt und die Neue Medizin
Siedler, 222 Seiten, € 18,00

6. **Hans Melderis** – 20
Geheimnis der Gene
Europäische Verlagsanstalt, 192 Seiten, € 19,50

7. **Detlef B. Linke** – 19
Kunst und Gehirn
Rowohlt TB, 256 Seiten, € 12,90

8. **Heinrich Zankl** – 16
Die Launen des Zufalls
Primus, 165 Seiten, € 14,90

9. **L. Honnefelder, P. Propping (Hg.)** – 13
Was wissen wir, wenn wir das menschliche Genom kennen?
Dumont Literatur und Kunst, 328 Seiten, € 24,80

10. **D. Ingruber, M. Kaller-Dietrich (Hg.)** – 12
Mais
Brandes & Apsel, 239 Seiten, € 19,90

mentiert mehr oder weniger ausführlich ihre behaupteten Wirkmechanismen. Vieles wird hier noch einmal gesagt, oder besser: geschimpft.

Auf den letzten zwanzig Seiten entwirft Stöhr dann einen „integrativen“ Ansatz, das heißt, eine Erweiterung der Schulmedizin zur ganzheitlichen Medizin durch Integration „wertvoller“ alternativer Heilweisen. Heraus kommt ein Katalog von Selbstverständlichkeiten: Das soziale und weltanschauliche Umfeld der Patienten sei einzubeziehen; oder der Erhaltung von Gesundheit müsse ein ebenso hoher Stellenwert eingeräumt werden wie der Behandlung von Krankheitssymptomen. Da erscheint es nur konsequent, dass der Autor von der Liste der „Alternativen“ die Klassiker weiterempfiehlt: Entspannungstechniken gegen Stress und Schlaflosigkeit, Physiotherapie bei Bandscheibenerkrankungen, Akupunktur und einige Heilpflanzen, die ihre Wirksamkeit bereits unter Beweis gestellt haben wie das Johanniskraut bei Depressionen. Überraschend ist lediglich der Gedanke, auch spirituelle Heilverfahren bei chronischen, lebensbedrohlichen und psychosomatischen Leiden zu berücksichtigen, obwohl sie sich einem rationalen Zugang ebenso verschließen wie die verteufelte Homöopathie.

Das Buch ist eine im Prinzip gute Übersicht über ein wichtiges Thema. Leider ist es zu einer Art überlangem Besinnungsaufsatz geraten und greift in der kritischen Analyse der Systeme zu kurz. Um Ärzten Denkanstöße zu geben, ist das Buch sicher gut geeignet, um Patienten zu informieren, zu sehr aus der subjektiven Sicht des Weißkittels geschrieben. Übrigens wären Illustrationen eine willkommene Auflockerung gewesen; ein straffes Lektorat hätte leicht den Platz dafür schaffen können.

Klaus-Dieter Linsmeier

Der Rezensent ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

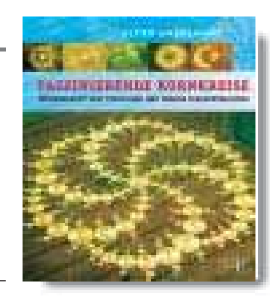
LANDSCHAFTSKUNST

Eltjo Haselhoff

Faszinierende Kornkreise

Wissenschaftliche Forschung und urbane Legendenbildung

Beust, München 2001. 176 Seiten, € 19,90



Seit dem Anfang der achtziger Jahre tauchen sie immer wieder in Getreidefeldern auf: die ominösen Kornkreise. Waren es ursprünglich tatsächlich nur simple Kreise, so sind es mittlerweile hoch komplexe Formationen. Als Sommerlochthema haben sie die Ufos und das Ungeheuer von Loch Ness fast ersetzt, mit dem Unterschied, dass das Phänomen nicht flüchtig, sondern greifbar ist: Noch Wochen nach dem ersten Auftauchen kann man einen Kornkreis fotografieren, vermessen, Boden- und Pflanzenproben nehmen – das einzige „übernatürliche“ Phänomen, bei dem ein naturwissenschaftlicher Zugang möglich scheint.

Eltjo Haselhoff, ein niederländischer Fachmann für Lasertechnologie, der unter anderem an den Los Alamos National Laboratories gearbeitet hat, will mit seinem Buch eine solche naturwissenschaftliche Analyse liefern – aber nicht ausschließlich. Haselhoff ist offen gegenüber unkonventionellen Methoden; so zieht er durchaus in Betracht, dass telepathische Botschaften von außerirdischen Wesen etwas über Kornkreise aussagen. Mit Schlussfolgerungen ist er rasch bei der Hand. So gilt als Beleg für das hohe Alter des Phänomens, dass ein Holzschnitt von 1678 möglicherweise einen Kornkreis zeigt, dass Robert Plot 1686 – im Buch falsch 1677 – von Pilzen erzeugte Hexenringe erwähnt und ein Farmer meinte, die Kornkreise seien schon seit Jahren auf seinem Land zu finden. Für eine wissenschaftliche Arbeit ungewöhnlich, fehlen bei besonders sensationellen Behauptungen häufig Belegstellen.

Für seine Auffassung, Kornkreise seien ein bislang ungeklärtes Phänomen, präsentiert er vor allem drei Kategorien von Belegen: erstens die großenteils von ihm selbst beobachteten Anomalien wie tote Fliegen, die an den Halmen kleben, verwelktes Gras oder mikroskopische Mengen an Siliziumdioxid in den Kreisformationen. Nur fragt man sich unwillkürlich, wie subjektiv Haselhoff beobachtet, wenn er schon den im Buch abgebildeten Holzschnitt von 1678 nicht korrekt beschreibt, sondern zu Gunsten seiner Thesen gewaltsam uminterpretiert.

Zum zweiten zitiert Haselhoff zahlreiche Laboranalysen von Getreide aus Kornkreisen, das chemisch verändert sei oder anormale Wachstumsknoten aufweise. Der Großteil dieser Analysen stammt

von dem Forscherteam um William C. Levengood, dessen Expertisen in der Kornkreis-Szene heftig umstritten sind. Denn Levengoods „Pinelandia Biophysics Laboratories“ sind kein anerkanntes Forschungsinstitut, sondern ein Teil seiner Privatwohnung. Levengood findet zudem häufig „Beweise“ für das Übernatürliche. So entdeckte er kürzlich bei der Analyse von Wohnungsstaub unerklärliche „Glaspartikel“, die Entführungen durch Außerirdische beweisen sollen. Und obwohl selbst Kornkreisgläubige wie der englische Autor Colin Andrews akzeptieren, dass 80 Prozent der Formationen von Menschen stammen, sollen Levengoods Analysen belegen, dass mindestens 90 Prozent der Kreise echt sind.

Warum entnehmen Levengood und Haselhoff ihre Kontrollproben „außerhalb des Kornkreises“, also von aufrecht stehendem Getreide? Wäre es nicht sinnvoller, platt gedrücktes Getreide in einem Kornkreis mit platt gedrücktem Getreide von einem Windbruch zu vergleichen? Zeigt jedes niedergedrückte Getreide die im Labor festgestellten Anomalien? Fast jede Stelle, an der Haselhoff „wissenschaftliche Ergebnisse“ präsentiert, lässt solche Fragen aufkommen. ▶

Auf der Suche nach den Allesteilern

von Pierre Tougne

Wenn eine dreistellige Zahl mit der Ziffernfolge *ABC* durch 3 teilbar ist, gilt dies auch noch, wenn man die Reihenfolge der drei Ziffern beliebig verändert.

Für dieses Rätsel sind die Vertauschungsmöglichkeiten eingeschränkt: Gesucht sind alle Zahlen x mit der Eigenschaft: Wenn x die Zahl mit der Ziffernfolge *ABC* teilt, dann auch die Zahlen mit den Ziffernfolgen *BCA* und *CAB*.

Schicken Sie Ihre Lösung in einem frankierten Brief oder auf einer Postkarte an Spektrum der Wissenschaft, Leserservice, Postfach 104840, D-69038 Heidelberg.

Unter den Einsendern der richtigen Lösung verlosen wir 10 schwebende Kugelschreiber „Pen Ultimate“. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Es werden alle Lösungen berücksichtigt, die bis Dienstag, 14. Mai 2002, eingehen.

Lösung zu „Auf der Wippe“ (März 2002)

Viele Leser haben die Hebelarme von Tante Emmas Waage mit einer Skalierung versehen und mit deren Hilfe das Problem gelöst. Das war nicht vorgesehen (wurde aber für die Verlosung als gültig akzeptiert). Die Waage ist so gebaut, dass man ein Gewicht in die linke Waagschale, die rechte oder gar nicht legen kann. Unter diesen Umständen ist das Verfahren von Roland Maier aus Riemerling optimal:

Man lege in jede Waagschale ein Gewicht, worauf sich die Waage neigt. Man stelle sich nun so vor die Waage, dass die tiefere Waagschale rechts ist, und lege das 2-kg-Stück auf die linke Schale. Daraufhin bleibt die Waage nach rechts geneigt (Fall A), kommt ins Gleichgewicht (B) oder neigt sich nach links (C).

Im Fall A nehme man das 2-kg-Stück ganz weg, in den Fällen B und C lege man es auf die rechte Schale; in allen Fällen lege man ein drittes Gewicht auf die linke Schale. Wieder kann daraufhin die Waage im Gleichgewicht, nach rechts oder nach links geneigt sein. Im Fall A kommen vier Ergebnisse in Frage, von denen jedoch zwei ununterscheidbar sind, ebenso in den Fällen B und C.

Im Einzelnen ergibt sich die folgende Fallunterscheidung. Links vom Strich sind die Gewichte in der linken Waagschale verzeichnet, rechts vom Strich die in der rechten.

➤ Fall A: (1, 2 | 4) oder (1, 2 | 5)
nach Auflegen des dritten Gewichts:
➤➤ Gleichgewicht: (1, 3 | 4) oder (1, 4 | 5)
➤➤ nach rechts geneigt: (1, 3 | 5)
➤➤ nach links geneigt: (1, 5 | 4)
➤ Fall B: (1, 2 | 3) oder (3, 2 | 5)
nach Auflegen des dritten Gewichts:
➤➤ Gleichgewicht: (1, 4 | 3, 2) oder (3, 4 | 5, 2)
➤➤ nach rechts geneigt: (3, 1 | 5, 2)
➤➤ nach links geneigt: (1, 5 | 3, 2)
➤ Fall C: (3, 2 | 4) oder (4, 2 | 5)
nach Auflegen des dritten Gewichts:
➤➤ Gleichgewicht: (4, 3 | 5, 2)
➤➤ nach rechts geneigt: (3, 1 | 4, 2) oder (4, 1 | 5, 2)
➤➤ nach links geneigt: (3, 5 | 4, 2)

Es gibt zwölf Möglichkeiten, nacheinander drei Gewichte aufzulegen (sechs Möglichkeiten, die ersten zwei aus den vier unbekannten Gewichten auszuwählen, mal zwei Möglichkeiten für das dritte), aber nur neun unterscheidbare Ergebnisse. Unvermeidlich endet daher Fritz in sechs von zwölf Fällen in einer zweideutigen Situation. Er hat also nur eine Chance von 50 Prozent, früher nach Hause zu gehen.

Die Gewinner der zehn Sanduhren „Paradox“ sind Matthias Kusber, Nürnberg; Falk Lehmann, München; Michael Galli, Augsburg; Maureen Linnemann, Gummersbach; Martin Bader, Immenstaad; Karin Auerbach, Nürnberg; Hartmut Lemmel, Wien; W. Blendin, Hünfelden; Christian Klapper, Münster; und Gerhard Guthöhrlein, Marburg.

Lust auf noch mehr Rätsel? Unser Wissenschaftsportal wissenschaft-online (www.wissenschaft-online.de) bietet Ihnen unter dem Fachgebiet „Mathematik“ jeden Monat eine neue mathematische Knobelei.

Manche Kornkreise seien von so „überlegener“ Komplexität, dass ihre Konstruktionsprinzipien häufig erst mühsam am Zeichentisch rekonstruiert werden müssten. Das ist richtig; aber bislang wurde kein Kornkreis entdeckt, dessen Konstruktionsprinzip jenseits menschlicher Fähigkeiten gewesen wäre. Zudem ist diese Komplexität nur auf den Plänen, nie aber wirklich im Feld zu finden.

Drittens wertet Haselhoff Augenzeugenberichte über die Entstehung von Kornkreisen als Beleg für deren übernatürlichen Ursprung. Leider ist das anekdotische Material nicht überprüfbar und kann oft auch anders erklärt werden. Ein Bericht von Nancy Talbott aus Levengoods Team über wirbelnde Lichter klingt wie eine Beobachtung eines Lichteffektgerätes. Ein mehrfach erwähntes Video gilt mittlerweile als gefälscht (Haselhoff kann sich nur dazu durchringen, es „umstritten“ zu nennen), und Lichtkugeln bei der Entstehung von Kornkreisen werden auffälligerweise erst gemeldet, seit der Meteorologe Terrence Meaden entsprechende Hypothesen veröffentlicht hat.

Zweifellos haben zahlreiche Menschen, wie von Haselhoff aufgeführt, von ungewöhnlichen psychologischen Reaktionen in Kornkreisen berichtet – aber ziehen Kornkreise nicht gerade die Leute an, deren esoterische Grundeinstellung solche Erlebnisse fördert? Bei meinen Besuchen in englischen Kornkreisen ist bislang alles mit rechten Dingen zugegangen, aber ich habe auch keine besondere Disposition, die Wundertätigkeit von platt gedrücktem Getreide zu beweisen.

Wer immer auch der Urheber der Formationen ist: Es handelt sich oft um herausragende Beispiele von Landschaftskunst. Die zahlreichen ganzseitigen Aufnahmen in diesem Buch unterstreichen diese Feststellung, und so ist das Werk zumindest ein Augenschmaus, auch wenn es wenig Neues und vor allem nichts unumstößlich „Wissenschaftliches“ bringt – von den „urbanen Legenden“ des Titels, die im Text nicht einmal angesprochen werden, ganz zu schweigen. Die Bilder sind wahrhaft phänomenal, und das Büchlein, das kaum mehr Text aufweist als eine kleine Broschüre, liest sich schnell und flüssig. Ein brauchbares Register und einige, bei weitem nicht vollständige und sehr selektive Literaturangaben runden den Band ab.

Ulrich Magin

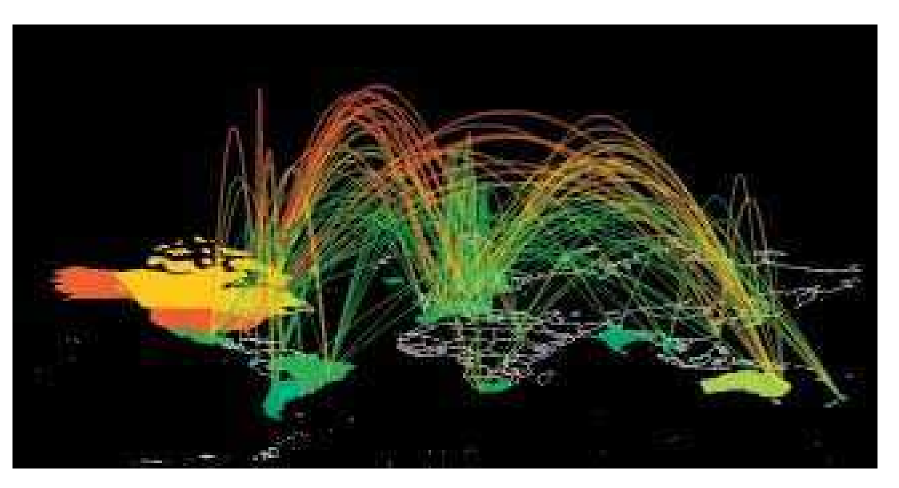
Der Rezensent ist Lektor beim Moewig-Verlag und wohnt in Rastatt. Er analysiert seit 25 Jahren Berichte über „unerklärliche Phänomene“.

Durch das Internet mit Links

Wie findet der einzelne Nutzer in der „allwissenden Müllhalde“ Internet genau die verlässliche Information, die er sucht? Immerhin stehen dem wissbegierigen User auf über 36 Millionen Web-Angeboten (Sites) mehr als vier Milliarden Einzelseiten zur Verfügung. Deshalb gibt er meist in ein eigens dafür konzipiertes Internet-Programm, eine so genannte Suchmaschine, eine Kombination von Suchwörten ein und erhält eine Liste von Webseiten, in denen diese Wörter vorkommen. Nur allzuoft enthält diese Liste einen hohen Anteil Unbrauchbares, denn aus dem bloßen Vorhandensein eines Wortes geht nicht hervor, ob die Webseite zu dem zugehörigen Begriff etwas zu sagen hat.

Mehr Sinn steckt schon in den in Hyperlinks, anklickbaren Verweisen, die der Autor der Webseite selbst in diese eingefügt hat. Das Web lässt sich als ein riesiges Netz aus Knoten auffassen, die durch die Hyperlinks miteinander verknüpft sind. Spezielle Computerprogramme sind in der Lage, in diesem unübersehbaren, zufällig erscheinenden Fadengewirr eine gewisse Ordnung zu finden (Spektrum der Wissenschaft 8/1999, S. 44). Dabei erweist sich die Hyperlink-Struktur oftmals als ein deutlicheres Kennzeichen für die inhaltliche Verwandtschaft von Webseiten als noch so geschickt gewählte Suchbegriffe.

Alle Verknüpfungen im gesamten Internet unter die Lupe zu nehmen scheitert jedoch an ihrer riesigen Menge. Deshalb haben Gary Flake und seine Kollegen vom Forschungsinstitut der amerikanischen Firma NEC in Princeton einen etwas anderen Weg gewählt. Sie beschränken sich nicht auf eine vorgegebene Menge von Seiten, sondern wählen zunächst eine aus, die als Keimzelle für eine so genannte Community (Gemeinschaft) dient. Kandidaten für die Community sind zunächst die Webseiten, die mit der Keimzelle direkt oder indirekt über (ein- oder ausgehende) Hyperlinks verknüpft sind. Durch einen raffinierten Algorithmus wird dann bestimmt, welche Webseiten endgültig zur Community gehören: Per Definition ist jedes Mitglied einer Community mit mehr Mitgliedern als Nicht-Mitgliedern verbunden. Das Computer-Programm der NEC-Forscher identifiziert somit ausgehend vom gewählten



Die globalen Datenströme im Internet werden in dieser Darstellung durch „ballistische Kurven“ veranschaulicht. (http://mappa.mundi.net/maps/maps_008/)

Startpunkt die Gemeinschaft, die sich selbstorganisiert über die Hyperlinks im Internet gebildet hat (IEEE Computer, Bd. 35, S. 66, 2002).

Ein Beispiel für diese Methode findet sich unter http://webselforganization.com/example.html. Dort hat der Algorithmus der NEC-Forscher einer Internetseite mit Themen zum 11. September eine Gemeinschaft von mehr als 6000 weiteren Seiten zugeordnet – nur aufgrund der Verknüpfungen über Hyperlinks und ohne Zuhilfenahme von Textinformationen. Innerhalb dieser Community führt das Suchwort „why“ nun sofort auf Seiten, die sich mit der Frage „Why did it happen and why did the buildings collapse?“ beschäftigen. Auch die ansonsten mehrdeutigen Begriffe „bin“ und „laden“ führen nicht mehr in die Irre, sondern auf Informationen über Usama Bin Laden.

Filtersoftware zur Abwehr pornografischer oder anderer anstößiger Web-Inhalte könnte mit dem Community-Algorithmus noch treffsicherer werden. Wie sich herausstellt, ist eine Pornografie-Seite nicht unbedingt am Vorhandensein gewisser Reizwörter zu erkennen, die von den Betreibern vielleicht mit Fleiß vermieden werden, sondern weit zuverlässiger daran, dass sie auf andere Pornografie-Seiten verweist oder auf sie von diesen verwiesen wird. Auch sind effektivere Suchmaschinen denkbar, bei denen sich text- und linkbasierte Methoden geschickt ergänzen.

Die Halbwertszeit einer Website ist durchschnittlich 55 Monate

Allerdings läuft man im kurzlebigen Internet oft ins Leere. Was nützt der schönste Fund, wenn die zugehörige Internetseite nicht mehr existiert? John Markwell und David Brooks von der Universität von Nebraska in Lincoln haben das bei den von ihnen entwickelten Web-basierten Kursen zur Biochemie (http://dwb.unl.edu/Teacher/NSF/C10/C10.html, -C11/C11.html und -C08/C08.html) schmerzlich zu spüren bekommen: Häufig fielen Hyperlinks aus – als würden aus einem Lehrbuch immer wieder Seiten ausgerissen. Einen vorläufigen Bericht dazu haben Markwell und Brooks unter http://www-class.unl.edu//biochem/url/broken_links.html veröffentlicht. Ihr Ergebnis: Hyperlinks haben eine Halbwertszeit von etwa 55 Monaten. Nach dieser Zeit sind somit die Hälfte von ihnen „zerbrochen“, nach 13 Monaten schon 16,5 Prozent. Dabei erwiesen sich die Links von Regierungsstellen (Kürzel .gov) mit nur vier Prozent Verlust als einigermaßen robust, solche von Bildungsstätten (.edu) mit 17,5 Prozent als besonders kurzlebig. Diese Resultate haben die Begeisterung von Markwell und Brooks für die Verwendung von Hyperlinks erheblich gedämpft.

Der Psychologe Ulf-Dietrich Reips von der Universität Zürich hat das Problem bereits seit längerem erkannt und für sich gelöst. Der Spezialist für psychologische Web-Experimente verweist nicht nur auf die Experimente seiner Kollegen, sondern archiviert sie gleich komplett unter der Adresse http://130.60.239.96/wexlist/, um sie so langfristig verfügbar zu halten.

Alexander Pawlak



Ein Laufband für die New Yorker U-Bahn

Der Verkehrsausschuß der Stadt New York wies darauf hin, daß es wünschenswert wäre, die Kurzlinie der U-Bahn, die „Times Square“ mit „Grand Central Station“ verbindet, durch ein noch besser geeignetes Verkehrsmittel zu ersetzen. Nach vielfachen Voruntersuchungen wurde das im Gütertransport bewährte endlose Laufband als grundsätzlich brauchbar auch für diesen Zweck erkannt. … Die Strecke wurde in mehrere Abschnitte unterteilt, die von Bändern mit verschiedenen Geschwindigkeiten bestrichen werden. Sie befördern Einzelkabinen mit je 10 Sitz- und einer Anzahl Stehplätzen. *(Umschau, 52. Jg., Heft 9, S. 272, 1952)*



Bis zu 32 000 Personen pro Stunde soll das geplante Laufband auf einer Kurzstrecke befördern.

Blutveränderung im Winterschlaf

Suomalainen und Lehto haben festgestellt, daß das Blut des Igels während des Winterschlafs viel langsamer gerinnt als zur Sommerzeit, und zwar ist die Blutgerinnungszeit etwa auf das Doppelte erhöht. Diese Tatsache beruht auf einer während des Winterschlafs vermehrten Ausschüttung des gerinnungshemmenden Stoffes Heparin durch die Ehrlich'schen Mastzellen. Diese Verringerung der Blutgerinnungsfähigkeit ist ein in der Natur sehr zweckmäßiger und wichtiger Vorgang, weil in der Schlafperiode die Blutzirkulation verlangsamt ist und eine vermehrte Neigung zur Thrombose besteht. Dieselbe Erscheinung in noch größerem Ausmaß haben Svihla, Bowman und Ritenour während der Lethargieperiode des sommerschlafenden Eichhörnchens (Citellus) beobachtet. *(Umschau, 52. Jg., Heft 9, S. 279, 1952)*

Zeitmessung auf eine milliardstel Sekunde genau

Amerikanische Wissenschaftler haben ein Zeitmeßverfahren mit einer Genauigkeit von einer milliardstel Sekunde ausgearbeitet. Eine derart präzise Zeitmessung ist für atomkernphysikalische Messungen von großer Wichtigkeit. Das Präzisions-Zeitmeßgerät wurde an der Yale-Universität mit Unterstützung des Forschungsinstituts der US-Kriegsmarine entwickelt. Als „Uhrwerk“ wird ein Paar von Kernpartikel-Zählgeräten verwendet, welche mit einem Geiger-Müller-Zähler große Ähnlichkeit aufweisen. Die beiden Zähler registrieren die Aktivität von Elementarteilchen eines Atoms. *(Orion, 7. Jg., Nr. 10, S.413, 1952)*

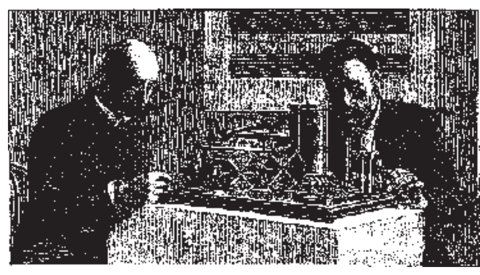
Ein neu entwickelter Kunstkork

Die BASF hat unter der Bezeichnung „Styropor“ einen Kunststoff herausgebracht, der porig ist und wie Kork verarbeitet und verwendet werden kann. Das „Styropor“ isoliert gegen Wärme, Schall und elektrischen Strom; es erscheint als vollwertiger Austauschstoff für Naturkork geeignet. *(Chemiker-Zeitung, 76. Jg., Nr. 13/14, S. 316, 1952)*



Die Schnelltelegraphie

Beim Pollak-Birág’schen Systeme der Schnelltelegraphie werden die Depeschen in Papierstreifen eingestanzt, welche dann in den Zeichengeber gebracht werden. Dieser besteht aus einer metallenen Walze, die durch ein Uhrwerk oder einen Motor in Rotation versetzt werden kann und mit der Leitung in Verbindung steht. Auf dieser Walze schleifen zwei kleine metallene Bürsten, und zwar so, daß die eine genau auf die obere Lochreihe der Schablone, die andere auf die untere paßt. Die Löcher oberhalb der Mittellinie des Papierstreifens entsprechen den Strichen der Morsezeichen, jene unter der Mittellinie den Punkten. … Der erste Versuch mit diesem Systeme fand auf der beträchtlich langen Linie Berlin-Budapest statt. Es wurde unter anderem eine Depesche von 220 Wörtern in 9 Secunden übertragen, was einer Leistung von 88000 Wörtern in der Stunde entspricht. *(Der Stein der Weisen, 27. Bd., S.117, 1902)*



Pollak und Birág testen ihren Schnelltelegraphen.

Sonnenmotor

In Los Angelos, einem Badeort Südkaliforniens, hat man bei dem Bau eines Motors das auch schon früher angewendete Princip benutzt, die Sonnenstrahlen in Hohlspiegeln aufzufangen und auf den zu erwärmenden Gegenstand zu werfen. Etwa 1800 auf der Innenseite eines Reflektors von 10 m Durchm. angebrachte Spiegel fangen die Sonnenstrahlen auf und reflektieren sie auf einen Dampfkessel. … Bereits nach einer Stunde soll sich durch die Bestrahlung Dampf von 10 Atm. Spannung im Dampfkessel entwickelt haben, der zu einer Dampfmaschine geleitet wird, die 10 bis 15 PS entwickelt. *(Der Gesundheits-Ingenieur, 25. Jg., No. 9, S. 151, 1902)*

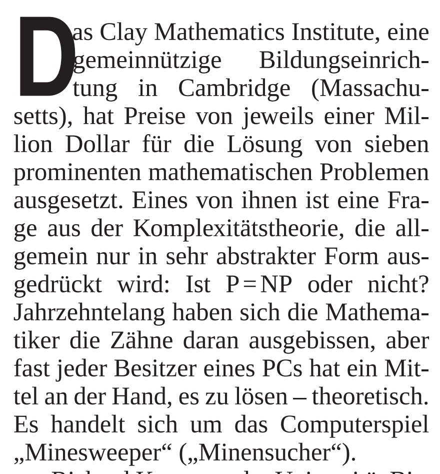
Der Mensch als kalorische Maschine

K. Schreber kommt zu dem Schluss, dass der menschliche Körper eine für Leistung mechanischer Arbeit sehr schlecht konstruierte Maschine ist. Andererseits ergiebt sich, mag man den Wirkungsgrad berechnen, die dem Temperaturgefälle im Menschen entsprechende Arbeit als zu klein, d.h. „der menschliche Organismus darf nicht als kalorische Maschine bezeichnet werden, bezw. es wird nur ein kleiner Teil der vom Menschen geleisteten Arbeit nach Art der kalorischen Maschinen gewonnen, während der andere Teil durch eine von der Wärme verschiedene Zwischenenergie aus der chemischen Energie der Nahrungsmittel entsteht.“ Eine hochwichtige Aufgabe wird es sein, diese Zwischenenergie … zu entdecken. Man sieht, das Wort „L’homme machine“ war leicht auszusprechen, aber noch sind wir weit davon entfernt, die Wirkungsweise dieser kunstvollsten und dabei vielseitigsten „Maschinen“ auch nur einigermassen zu verstehen. *(Naturwissenschaftl. Wochenschrift, NF I. Bd., Nr. 34, S. 405, 1902)*



Wer wird Millionär?

Wenn Sie als Erster ein schnelles Lösungsverfahren für ein verbreitetes Computerspiel angeben, ernten Sie Ruhm, Ehre und viel Geld.



Von Ian Stewart

Das Clay Mathematics Institute, eine gemeinnützige Bildungseinrichtung in Cambridge (Massachusetts), hat Preise von jeweils einer Million Dollar für die Lösung von sieben prominenten mathematischen Problemen ausgesetzt. Eines von ihnen ist eine Frage aus der Komplexitätstheorie, die allgemein nur in sehr abstrakter Form ausgedrückt wird: Ist P = NP oder nicht? Jahrzehntelang haben sich die Mathematiker die Zähne daran ausgebissen, aber fast jeder Besitzer eines PCs hat ein Mittel an der Hand, es zu lösen – theoretisch. Es handelt sich um das Computerspiel „Minesweeper" („Minensucher").

Richard Kaye von der Universität Birmingham (England) hat kürzlich auf Verbindungen zwischen diesem Spiel und dem berühmten Problem in einem Artikel hingewiesen („Mathematical Intelligencer", Bd. 22, Nr. 2, Frühjahr 2000, S. 9). Die Spielregeln sind wie folgt. Der Computer beginnt das Spiel und zeigt auf dem Bildschirm eine rechteckige Anordnung von Feldern. Unter einigen liegen explosive Minen, und es gilt herauszufinden, unter welchen. Im ersten Zug decken Sie irgendein Feld auf. Wenn sich darunter eine Mine befindet, explodiert sie, und Sie haben verloren. Wenn nicht, schreibt der Computer eine Zahl in das aufgedeckte Feld, die Ihnen sagt, wie viele Minen unter den acht angrenzenden Feldern liegen.

Mit dieser Information wählen Sie das nächste aufzudeckende Feld. Wieder knallt es, oder der Computer zeigt die Zahl der Minen in den angrenzenden Feldern an. Wenn Sie herausgefunden haben, dass unter einem Feld eine Mine liegt, können Sie dieses mit einem Fähnchen kennzeichnen. Wenn Sie alle Minen gefunden haben, sind Sie der Gewinner.

Was hat das nun damit zu tun, ob P=NP ist? Eine zentrale Frage der Komplexitätstheorie ist, wie schnell ein Algorithmus, das heißt ein schrittweises, auf einem Computer ausführbares Verfahren, ein gegebenes Problem lösen kann. Genauer gefragt: Wie hängt die Laufzeit – zu messen als die Anzahl der Rechenschritte bis zur Lösung – von der Problemgröße ab, das heißt von der Anzahl der Anfangsdaten? Es versteht sich, dass ein Problem umso mühsamer zu lösen ist, je mehr Daten es enthält: Zwei dreißigstellige Zahlen zu multiplizieren kostet mehr Arbeit als zwei fünfzehnstellige; um ein 1000-Teile-Legepuzzle fertig zu stellen, braucht man weitaus mehr Zeit als für ein 500-Teile-Puzzle. Die entscheidende Frage ist jedoch, wie schnell die Laufzeit mit der Problemgröße anwächst.

Die Klasse P der leichten Probleme

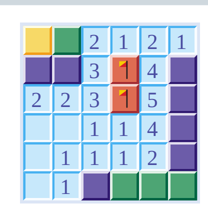
Bei der Multiplikation ist es eine Potenz der Problemgröße n: Um zwei n-stellige Zahlen zu multiplizieren, braucht es im Wesentlichen n^2 elementare Rechenschritte. Probleme dieser Art werden „vom Typ P" genannt (das P steht für „polynomiale Laufzeit") und gelten als leicht. Richtig schwer sind erst die Probleme, bei denen der Aufwand schneller steigt als jede Potenz von n, beispielsweise proportional zu 2^n oder zu $n!$ (n-Fakultät). Das kommt insbesondere dann vor, wenn die richtige Reihenfolge von n Daten gesucht ist und ein Algorithmus nichts Besseres tun kann, als alle Reihenfolgen durchzuprobieren. Ein Problem, das nicht vom Typ P ist, überfordert bereits bei mäßiger Größe die besten Computer der Welt.

Man kann beweisen, dass ein Problem vom Typ P ist, indem man einen Algorithmus angibt, der es in polynomialer Zeit löst. Solche Algorithmen gibt es beispielsweise für die Aufgabe, eine Reihe von Zahlen nach der Größe zu sortieren; entsprechend schnell arbeiten kommerzielle Sortierprogramme selbst auf großen Datenmengen. Das Problem des Handlungsreisenden – eine kürzeste Rundreise durch eine gegebene Menge von Städten zu finden – ist dagegen anscheinend nicht vom Typ P, aber das hat bisher noch niemand bewiesen. Gleiches gilt für die Aufgabe, die Primfaktoren einer natürlichen Zahl zu finden.

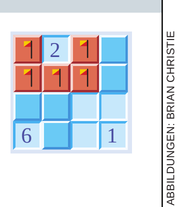
Warum ist es so schwer zu beweisen, dass ein Problem nicht vom Typ P ist? Weil es nicht genügt, einen bestimmten Algorithmus zu analysieren. Man müsste vielmehr zeigen, dass unter allen überhaupt denkbaren Algorithmen keiner das Problem in polynomialer Zeit lösen kann, und das ist sehr schwer. Das Beste, was bisher erreicht wurde, ist zu beweisen, dass eine ganze Reihe anscheinend schwerer Probleme miteinander verwandt sind: Wenn man eines davon in polynomialer Zeit lösen kann, dann auch alle anderen. Diese Probleme gehören sämtlich zu einer Klasse namens NP (für nichtdeterministisch polynomial).

NP ist nicht dasselbe wie Nicht-P. Ein Problem ist definitionsgemäß vom Typ NP, wenn man in polynomialer Zeit nachprüfen kann, ob eine vorgeschlagene Lösung richtig ist. Das ist offensichtlich weitaus einfacher, als die Lösung zu finden. Die Teile eines Legepuzzles richtig zusammenzulegen ist sehr mühsam – der Aufwand für das Durchprobieren wächst mit der Anzahl der Teile ins Gigantische; aber wenn jemand behauptet, das geschafft zu haben, braucht man nur für jedes Teil nachzusehen, ob es mit seinen Nachbarn zusammenpasst. Die dafür benötigte Zeit ist ungefähr proportional zur Zahl der Teile, also ist die Überprüfung in polynomialer Zeit zu erledigen.

Kann diese Spielstellung überhaupt vorkommen?



In einer typischen Stellung (links) des Computerspiels „Minesweeper" sind zwei Felder als vermint erkannt und durch Fähnchen gekennzeichnet. Aus den aufgedeckten Zahlen ist erschließbar, dass unter den violett gefärbten Feldern Minen stecken und unter den grünen keine. Nullen in aufgedeckten Feldern werden nicht eingetragen. Der Status des gelben Feldes ist unklar, lässt sich aber nach einem weiteren Zug bestimmen. Dagegen ist die rechts gezeigte Spielstellung nicht logisch konsistent: Keine denkbare Verteilung von Minen passt zu den Zahlen in den aufgedeckten Feldern.



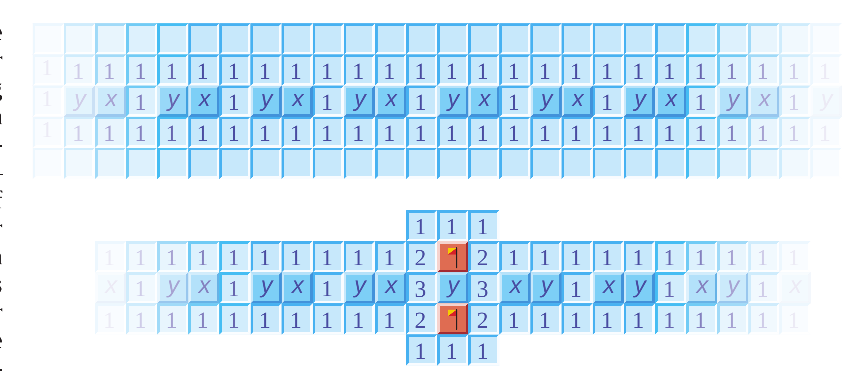
ALLE ABBILDUNGEN: BRIAN CHRISTIE

Es stellt sich nun heraus, dass viele NP-Probleme ineinander umformbar sind. Aus einem Algorithmus zur Lösung des einen Problems kann man demnach ohne weiteres einen machen, der das andere löst, und zwar in derselben Zeit – bis auf einen konstanten Faktor, und auf konstante Faktoren kommt es in dieser Theorie nicht an. Man nennt ein Problem NP-vollständig, wenn die Existenz eines polynomialen Lösungsalgorithmus für dieses Problem nach sich zieht, dass alle NP-Probleme in polynomialer Zeit lösbar sind. Die NP-vollständigen Probleme bilden also eine besonders interessante Unterklasse der NP-Probleme: Wenn Sie ein einziges dieser speziellen Probleme in polynomialer Zeit lösen können, dann haben Sie auf einen Schlag eine ganze Klasse schwerer Probleme (NP) in leichte (P) verwandelt.

Sind also die allem Anschein nach schweren Probleme eigentlich leicht? Ist P = NP? Jedermann erwartet die Antwort „Nein“, aber wenn sich irgendein NP-vollständiges Problem als vom Typ P erweist, dann muss P = NP sein.

Man kennt sehr viele NP-vollständige Probleme. Eines der wichtigsten ist das Erfüllbarkeitsproblem (*satisfiability problem*, SAT). Nehmen wir als Beispiel eine Gesetzesvorschrift: Ein Mensch ist asylberechtigt, wenn er eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt ODER eine andere Reihe von Voraussetzungen ODER eine dritte Reihe … Die Voraussetzungen schließen sich zum Teil gegenseitig aus. Gibt es eine Kombination von Voraussetzungen, die einen asylberechtigt macht?

Dasselbe wäre formal wie folgt auszudrücken. Gegeben ist ein großer, komplizierter Schaltkreis (die Gesetzesvorschrift). An den Eingängen des Schaltkreises (den „Voraussetzungen“) kann jeweils der Wert W (wahr) oder F (falsch) anliegen. Der Schaltkreis selbst besteht aus logischen Schaltelementen (Gattern) mit Namen wie UND, ODER und NICHT. Jedes Gatter kombiniert seine Eingaben in bestimmter Weise und liefert das Ergebnis als Ausgabe, die vielleicht einem weiteren Gatter als Eingabe dient. So verwandelt ein NICHT-Gatter eine Eingabe W in die Ausgabe F und umgekehrt; ein UND-Gatter liefert genau dann die Ausgabe W, wenn beide Eingänge W sind. Der ganze Schaltkreis hat einen einzigen Ausgang (die „Entscheidung“), und das SAT-Problem ist die Frage, ob es zu einem gegebenen Schaltkreis eine Kombination von Eingaben gibt, die an diesem Ausgang ein W erzeugen. Für einfache Schaltkreise ist das ein Kinderspiel, aber bei vielen Gattern und vielen Eingaben schier unlösbar.



Die Bauteile eines logischen Schaltkreises lassen sich in Teile eines Minesweeper-Bretts verwandeln. Wenn ein mit *x* bezeichnetes Feld eine Mine enthält, ist das benachbarte *y*-Feld frei und umgekehrt; das ist aus dem Muster der umgebenden Einsen erschließbar. Oben ein „Draht“: Die Information, dass unter (beispielsweise) einem *x*-Feld am linken Rand eine Mine liegt, pflanzt sich von links nach rechts fort wie ein Signal in einem echten Draht. Unten ein NICHT-Gatter, das *x* und *y* vertauscht.

Der Zusammenhang mit dem Computerspiel Minesweeper wird ersichtlich, wenn wir nun das Minesweeper-Konsistenzproblem betrachten. Hier geht es nicht darum, die Minen zu finden, sondern herauszufinden, ob eine gegebene Minesweeper-Position logisch konsistent ist. Wenn Sie beispielsweise im Spielverlauf auf die im Kasten rechts gezeigte Position stoßen sollten, wüssten Sie sofort, dass der Programmierer einen Fehler gemacht hat. Keine Verteilung von Minen könnte mit den gezeigten Zahlen in den Feldern übereinstimmen.

Das Minesweeper-Problem ist echt schwer

In einem gewöhnlichen Minesweeper-Spiel löst der Spieler immer wieder (kleine) Konsistenzprobleme: Ist die Annahme, unter einem bestimmten Feld stecke eine Mine, mit den bereits bekannten Zahlen vereinbar? Wäre also die Spielstellung mit der Mine in diesem Feld konsistent? Wenn nein, dann darf der Spieler das Feld getrost betreten.

In seinem Artikel beweist Kaye, dass das SAT-Problem für einen gegebenen logischen Schaltkreis sich in ein Minesweeper-Konsistenzproblem für eine bestimmte Spielposition umformen lässt. Darüber hinaus zeigt er, dass diese Umformung in polynomialer Zeit abläuft.

Bei dieser Prozedur wird der komplette Schaltkreis in eine Position auf einem (möglicherweise sehr großen) Minesweeper-Brett abgebildet. Ein Gatter wird zu einer Anordnung von Feldern; einige von ihnen sind aufgedeckt und tragen Nummern, andere sind vermint, was aus den Einträgen in den Nachbarfeldern eindeutig hervorgeht, und wieder andere sind verdeckt, und es ist zunächst unklar, ob eine Mine darunter liegt (was dem Wert W entspricht) oder nicht (F). Ein Draht ist ebenfalls eine (lang gestreckte) Anordnung von Minesweeper-Feldern. Drähte, die um die Ecke gehen, sich verzweigen oder sich überkreuzen, sind durch spezielle Minesweeper-Konfigurationen wiederzugeben. Kaye gelingt es in seinem Artikel, alle diese Probleme zu lösen. Am Ende ist aus dem Erfüllbarkeitsproblem zunächst ein logischer Schaltkreis und aus diesem eine Stellung auf einem (sehr großen) Minesweeper-Brett geworden. Wenn man das Konsistenzproblem für diese Spielposition in polynomialer Zeit lösen kann, dann hat man in derselben Zeit auch das zugehörige SAT-Problem gelöst.

Mit anderen Worten: Das Minesweeper-Konsistenzproblem ist NP-vollständig. Wenn jemand also für dessen Lösung einen polynomialen Algorithmus findet, dann lassen sich alle NP-Probleme in polynomialer Zeit lösen, und dann ist P = NP. Wenn andererseits jemand zeigen kann, dass es keinen solchen Algorithmus gibt, dann ist P ≠ NP.

Ehe Sie sich aber Hoffnung machen, seien Sie gewarnt: Das Minesweeper-Konsistenzproblem ist eine harte Nuss! Für gigantische Gitter wird es äußerst schwierig, und die meisten Fachleute sind davon überzeugt, dass es keinen Lösungsalgorithmus mit polynomialer Laufzeit gibt. Außerdem hat das Clay Institute strikte Regeln für den Wettbewerb aufgestellt. Bevor eine Lösung als richtig akzeptiert wird, muss sie in einer angesehenen mathematischen Zeitschrift veröffentlicht und innerhalb von zwei Jahren nach der Publikation „allgemein akzeptiert“ sein. ■

Ian Stewart ist Professor für Mathematik an der Universität von Warwick in Coventry (England).

Die Entstehung unserer Galaxis

Astrophysiker müssen mitunter mit kriminalistischem Spürsinn Indizienbeweise führen, weil es keine Zeugen für den Ablauf der Geschehnisse gibt. So können sie anhand der räumlichen Verteilung der chemischen Elemente die Entstehung und Entwicklung unseres Milchstraßensystems rekonstruieren.

Weitere Themen im Juni

Gen-Chips für eine individuelle Medizin

Bald sollen Ärzte nicht mehr am Patienten selbst ausprobieren müssen, welches Medikament bei ihm anschlägt. Vor der Verschreibung können sie die individuelle Wirkung an einem Gen-Chip – einem DNA-Microarray – testen.

Auf Schadstoffjagd in der Polarnacht

Neu entwickelte hochempfindliche Messgeräte erlaubten erstmals, die Luftverschmutzung in der Arktis auch während der Polarnacht zu überwachen und den Ursprung jener Dunstschwaden zu ergründen, die jeden Frühling den Himmel am Nordpol trüben. Als Lichtquelle dienten einzig Mond und Sterne.



Storchenzug per Satelliten verfolgen

Eine neue Epoche der Vogelzugforschung hat begonnen, seit Ornithologen Zugvögel mit Sendern ausstatten und sie per Satelliten ununterbrochen beobachten. Für Störche hat dies bereits unerwartete Ergebnisse gebracht, so über die Anforderungen an Rastplätze auf dem Zug.



Mundgeruch

Für viele Zeitgenossen ist Mundgeruch eine hartnäckige Plage, die sogar zwischenmenschliche Beziehungen trüben kann. Erst jetzt beginnen Forscher, die Ursachen des schlechten Atems zu ergründen. Das Milliarden-Geschäft mit Zahnpasten, Zahnbürsten und Mundwässern kann davon profitieren.